ÉTUDE FAO: FORÊTS 2

planification des routes forestières et des systèmes d'exploitation

sous-division de l'exploitation et des transports en forêt
division des industries forestières
département des forêts

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE
Rome, 1977

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

M-36

ISBN 92-5-200407-6

Reproduction interdite, en tout ou en partie, par quelque procédé que ce soit, sans l'autorisation écrite de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, seule détentrice des droits. Adresser une demande motivée au Directeur de la Division des publications, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie, en indiquant les passages ou illustrations en cause.

© FAO 1978

AVANT-PROPOS

La Sous-Division de l'exploitation et des transports forestiers du Département des forêts de la FAO établit une série d'ouvrages didactiques et documentaires sur les problèmes d'exploitation, de transport et de construction routière en forêt. La plus récente publication de cette série est intitulée: "Planification des routes forestières et des systèmes d'exploitation".

Cet ouvrage est le fruit de la collaboration d'un ingénieur forestier canadien, M. J.A. McNally, et de la Sous-Division de l'exploitation et des transports en forêt du Département des forêts.

Il offre un large aperçu de l'évolution des nouvelles techniques d'exploitation et de leur incidence sur la planification des opérations forestières.

Il donne notamment des précisions sur le tracé des routes forestières en fonction des systèmes mécanisés de récolte, sur terrain plat ou ondulé. Il présente des formules de coût et de rendement pour divers engins d'exploitation, compte tenu de l'influence du milieu sur le temps productif homme et machine.

La mention de sociétés, de produits ou de marques commerciales n'équivaut pas à une caution ou à une recommandation de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Levé d'une route forestière au clisimètre

Page

10. SYSTEMES D'EXPLOITATION 32

10.1 Considérations générales 32
10.1.1 Terrain 32
10.1.2 Caractéristiques du peuplement 34
10.1.3 Conditions climatiques 35
10.1.4 Aménagement et sylviculture 36
10.1.5 Longueur et type des grumes 37
10.1.6 Main-d'oeuvre 37
10.1.7 Matériel mécanique 38
10.1.8 Mesurage de la production 39
10.2 Classification des systèmes de récolte 39
10.2.1 Récolte d'arbres entiers 43
10.2.2 Récolte de fûts entiers 43
10.2.3 Récolte de bois courts 46

11. FACTEURS D'AJUSTEMENT DU TEMPS DE TRAVAIL 46

11.1 Travailleurs manuels 46
11.2 Comportement des machines et des ouvriers sur le terrain 48
11.2.1 Terrain 48
11.2.2 Facteurs climatiques 49
11.2.3 Courbe d'apprentissage 49
11.2.4 Ajustement de base 49
11.2.5 Habileté et motivation de l'ouvrier 50

12. FORMULES D'ESTIMATION DES COUTS 50

12.1 Coût de fonctionnement des machines: formule abrégée 50
12.2 Formule pour les transports à courte distance 51
12.3 Coût de fonctionnement des camions ou des camions-remorques: formule abrégée 51

13. OPERATIONS MANUELLES SUR LE PARTERRE DE COUPE 52

13.1 Abattage manuel à la scie 52
13.2 Ebranchage manuel à la hache ou à la scie mécanique 53
13.3 Tronçonnage manuel à la scie 56
13.4 Empilage des bois courts sur le parterre de coupe 58
13.5 Opérations manuelles combinées sur le parterre de coupe 58

14. ABATTEUSES-GROUPEUSES 59

14.1 Abatteuses-groupeuses à flèche articulée 60
14.1.1 Types courants 60
14.1.2 Types spéciaux 62
14.2 Abatteuses-groupeuses à faible empattement 62

15. CHARGE UTILE DES DEBARDEURS DU TYPE SKIDDER 62

15.1 Généralités 62
15.2 Formule générale de la charge 63
15.3 Halage de fûts entiers gros bouts en avant 64
15.4 Halage de fûts entiers fins bouts en avant 66
15.5 Halage d'arbres entiers 66

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION 1

2. OBJET DE L'ETUDE 1

3. EVALUATION DU COUT DE LA MAIN-D'OEUVRE ET DES MACHINES 1

3.1 Généralités 1
3.2 Main-d'oeuvre 2
3.3 Machines 2
3.3.1 Généralités 2
3.3.2 Détermination du temps en vue de l'évaluation des coûts 3
3.3.3 Durée de vie des machines 4
3.3.4 Calcul du coût de fonctionnement des machines 5
3.3.5 Unités de puissance 5

4. STRUCTURE D'UNE ROUTE 8

5. CONSIDERATIONS GENERALES 9

6. CLASSIFICATION DES ROUTES FORESTIERES 9

6.1 Système de classification 9
6.2 Routes de transport 11
6.3 Routes d'alimentation 13
6.4 Pistes 13
6.5 Routes d'accès 13

7. TRACE DES ROUTES FORESTIERES 14

7.1 Procédure générale 14
7.2 Tests pédologiques sur le terrain 14
7.3 Erosion 15
7.4 Principes généraux 15
7.5 Routes d'alimentation 16
7.6 Modèle d'évaluation de deux solutions possibles 16

8. CONSTRUCTION DES ROUTES FORESTIERES 17

8.1 Considérations générales 17
8.2 Coûts - généralités 18
8.3 Piquetage, abattage, formation, défrichement, nivellement et travaux divers 20
8.4 Fossés 21
8.5 Stabilisation des pentes 22
8.6 Stabilisation de la couche de forestation 23
8.7 Aqueducs 26
8.8 Surfaçage 27

9. ENTRETIEN DES ROUTES FORESTIERES 31

Page

16. SKIDDERS A CABLES 67

16.1 Halage de fûts entiers abattus et ébranchés à la main 67
16.2 Halage des arbres entiers 70

17. SKIDDERS A GRAPPIN 70

18. SKIDDERS A PINCES 72

18.1 Machines à roues 72
18.1.1 Débardage de fûts entiers 73
18.1.2 Débardage d'arbres entiers 74
18.2 Machines chenillées 75

19. FELLER-SKIDDERS (ENGINS COMBINES D'ABATTAGE ET DE TRAINAGE) 75

20. FELLER-FORWARDERS (ENGINS COMBINES D'ABATTAGE ET DE PORTAGE) 76

31. EBRANCHEUSES 76

21.1 L'ébrancheuse simple Logma T-310 76
21.2 L'ébrancheuse multiple Hydro-AX 79

22. EBRANCHEUSES-TRONÇONNEUSES 80

22.1 Ebrancheuses-tronçonneuses travaillant sur parterre de coupe 80
22.2 Ebrancheuses-tronçonneuses travaillant en bordure de route 81
22.2.1 Ebrancheuse-tronçonneuse Hahn 81
22.2.2 Le processor Arbomatic 82

23. ABATTEUSES-EBRANCHEUSES 82

23.1 Abatteuses-ébrancheuses chenillées 82
23.2 Abatteuses-ébrancheuses à roues 83
23.2.1 Le Timberjack 83
23.2.2 L'abatteuse-ébrancheuse Tanguay 84

24. ABATTEUSES-EBRANCHEUSES-TRONÇONNEUSES 84

24.1 Abatteuses-ébrancheuses-tronçonneuses chenillées 84
24.2 Abatteuses-ébrancheuses-tronçonneuses à roues 84

25. ABATTEUSES-EBRANCHEUSES-PORTEUSES 85

26. DEBARDAGE PAR ENGIN PORTEUR 86

26.1 Généralités 86
26.2 Débardage des bois courts par portage 86
26.2.1 Forwarders autochargeurs pour le débardage des bois courts 87
26.3 Débardage porté de fûts entiers 88

27. RECOLTEUSES DE BOIS COURTS 90

28. REDUCTION EN PLAQUETTES AU BORD DE LA ROUTE 93

29. TRONÇONNEUSES MOBILES (SLASHERS) 94

29.1 Slashers canadiens 94
29.2 Autres tronçonneuses et slashers 94

Page

30. SYSTEMES DE TELEPHERAGE 95

30.1 Quelques systèmes à câble tracteur relevé (High Lead) 96
30.2 Quelques systèmes à câble porteur fixe 97
30.3 Espacement optimal des câbles-grues à longue distance 98

31. TRANSPORT SECONDAIRE 99

31.1 Généralités 99
31.2 Transport 99
31.2.1 Types de véhicules 99
31.2.2 Puissance nécessaire 101
31.2.3 Dimensions du véhicule et répartition réglementaire du poids brut 105
31.2.4 Pneumatiques (6) 105
31.2.5 Autres organes du véhicule 105
31.2.6 Calcul du prix de revient des matériels de transport 106
31.2.7 Mode d'application des coûts de fonctionnement des camions et remorques 107
31.3 Chargements 108
31.3.1 Généralités 108
31.3.2 Le chargeur de bois courts Pettibone Cary-Lift 108
31.3.3 Chargeur à flèche rigide 109
31.3.4 Chargeur à flèche articulée 109
31.3.5 Chargeuses frontales 112
31.4 Déchargement 114

ANNEXES

A SYSTEME DE CLASSIFICATION DES ROUTES DU SERVICE FORESTIER DES ETATS-UNIS ET COUT DE TRANSPORT DU BOIS A PATE AU MINNESOTA 115

B CHARGES DES ESSIEUX 117

C CONSIDERATIONS GEOMETRIQUES CONCERNANT LES ROUTES FORESTIERES 120

D DENSITE DES ROUTES D'ALIMENTATION 127

E COMPARAISON DES INDICES DE PRODUCTIVITE, PRIX D'ACHAT ET COUT HORAIRE DES TRACTEURS A CHENILLES EQUIPES DE LAME-S, CABINE DE PROTECTION ET TREUIL 131

F STABILISATION DE LA COUCHE DE FONDATION A LA CHAUX 133

G STABILISATION DES ROUTES AU CHLORURE DE CALCIUM 137

H ETABLISSEMENT DES FORMULES PERMETTANT D'EVALUER LE COUT DES MACHINES 139

I AMENAGEMENT DES ROUTES INTERIEURES EN VUE D'UN COUT TOTAL MINIMUM DU DEBARDAGE ET DU TRANSPORT 145

LISTE DES OUVRAGES CITES 150

PHOTOGRAPHIES

	Page
Levé d'une route forestière au clisimètre	iv
Formation d'une route forestière principale en terrain de colline	10
Forage mécanisé des trous de mines en terrain rocheux de montagne	22
Revêtement de bois sous la construction pour éviter l'érosion des talus	23
Aqueduc en ciment préfabriqué pour l'écoulement naturel des eaux	27
Chargement du gravier destiné aux routes principales d'une petite exploitation forestière	30
Entretien d'une route principale à la niveleuse automobile	31
Préparation du chantier: nettoyage du sous-bois à la machette	51
Abattage à la scie à chaîne	51
Extraction jusqu'à la route au débardeur	69
Débardeur à grappin au travail	72
Abatteur-ébrancheur forwarder chargeant les arbres abattus sur un chariot sur rail	85
Forwarder articulé pour petit bois	86
Machine d'exploitation polyvalente traitant les arbres à la souche et les transportant en bord de route	92
Equipement mobile de câble-grue pour l'extraction des grumes dans les opérations d'éclaircie	96
Déchargement sur semi-remorque à essieux doubles	101
Camion grumier lourd pour l'exploitation de la forêt tropicale	102
Grue de chargement hydraulique montée sur camion	110
Chargement du grumier avec chargeur frontal sur pneu	112
Déchargement du bois rond avec chargeur frontal sur chenilles	114

Facteurs de conversion

1 pouce	=	2,540 cm
1 pied	=	0,3048 m
1 yard	=	0,9144 m
1 "chain"	=	20,12 m
1 mile	=	1,609 km
1 yard carré	=	0,83613 m^2
1 mile carré	=	2,59 km^2
1 pied cube	=	0,02832 m^3
1 yard cube	=	0,765 m^3
1 "cunit"	=	2,832 m3
1 "cord"	=	2,41 m^3
1 gallon impérial	=	4,546 litres
1 livre-poids	=	0,4536 kg

1. INTRODUCTION

Une grande opération forestière est une entreprise complexe; avant toute autre action, il faut une planification approfondie et de nombreuses décisions. Il faut dresser un plan d'aménagement à long terme fondé sur un inventaire des ressources forestières, sur les caractéristiques topographiques et pédologiques du terrain et sur l'infrastructure existante. Le plan doit prévoir grosso modo le réseau des principales routes forestières et des plus importantes routes secondaires ainsi que le ou les systèmes d'exploitation à adopter.

Par route forestière, on entend ici les voies construites en forêt pour entretenir le peuplement et en récolter le produit. On a beaucoup écrit sur le tracé, les spécifications, la construction et l'entretien des routes publiques, mais fort peu sur les routes forestières et les conditions auxquelles elles doivent satisfaire pour permettre tel ou tel système d'exploitation.

Il y a divers types d'opérations forestières: exploitation des peuplements naturels, reboisement des zones exploitées, boisement de terres non forestières, entretien de ces plantations jusqu'à l'âge d'exploitabilité.

Le responsable doit généralement décider si l'on fera une coupe rase ou une coupe sélective, à moins que ce choix ne lui soit imposé par des règlements officiels ou des considérations économiques. Il doit choisir le type d'outils ou de machines à employer pour l'abattage et l'extraction, la dimension et la configuration du matériel de transport et, par conséquent, la qualité de routes d'évacuation à construire.

2. OBJET DE L'ETUDE

On s'est efforcé dans le présent manuel de donner aux forestiers des orientations pour les aider à déterminer les normes et la densité optimales du réseau routier ainsi que le système d'exploitation le plus propre à réduire au minimum le coût du bois rendu fabrique, et cela aussi bien pour les forêts naturelles que pour les peuplements artificiels, dans des régions tempérées ou dans des zones tropicales. Les principes applicables à une région ou à un système d'exploitation valent normalement pour d'autres.

On n'a pas étudié les routes à revêtement dur de ciment ou de composés de bitume (asphalte) et on ne s'est pas étendu sur le débardage par câble dans les terrains en forte pente. Un manuel traitant de ces méthodes d'exploitation doit être publié par la FAO en 1977 ou 1978. On s'occupe ici essentiellement des exploitations où des débardeurs ou des forwarders sont utilisés pour amener le bois de la souche au bord de la route, car ce sont là les méthodes les plus courantes lorsque la pente ne dépasse pas 50 à 60 pour cent. En effet, lorsque le choix est possible, le débardage au sol est presque toujours plus économique que le téléférage.

On s'est également étendu assez longuement sur les méthodes permettant d'estimer le prix de revient horaire du matériel, car les évaluations sont souvent faussées par l'oubli ou l'omission de postes qui devraient être pris en considération.

3. EVALUATION DU COUT DE LA MAIN-D'OEUVRE ET DES MACHINES 1/

3.1 Généralités

Le coût d'une activité forestière, qu'il s'agisse de la construction de routes, de l'entretien d'une plantation ou de l'exploitation du bois, comprend celui de la main-d'oeuvre, des machines, du matériel et des outils manuels. Il faut bien comprendre comment déterminer le coût réel de la main-d'oeuvre et des machines, dont il est souvent question dans les pages suivantes. Dans un cas comme dans l'autre, le coût est fonction de:

1/ Le présent chapitre est essentiellement une révision du chapitre 5 du Manuel FAO sur l'exploitation des peuplements forestiers artificiels dans les pays en développement (2).

a) la production par unité de temps, et
b) le coût par unité de temps,

exprimés sous la forme du coût par unité de production, m^3 par exemple.

Si, pour choisir le système d'exploitation le plus économique, on compare les divers systèmes possibles sans tenir compte de tous les facteurs qui interviennent dans le coût de la main-d'oeuvre et des machines, on risque de se tromper. Par exemple, si l'on oublie de compter les avantages marginaux dans le coût de la main-d'oeuvre, ou d'imputer l'amortissement et les intérêts sur les coûts de fonctionnement des machines, le projet risque d'en être compromis.

3.2 Main-d'oeuvre

Le coût de la main-d'oeuvre comprend les salaires ou traitements, plus le coût des avantages marginaux à la charge de l'employeur. Les salaires ou traitements proprement dits peuvent être rapportés à l'heure, au jour, à la semaine, au mois ou à l'année, ou bien à l'unité de production (travail aux pièces). Les avantages marginaux comprennent, par exemple, les congés annuels, les jours fériés officiels, l'assurance accident, les allocations familiales, les frais médicaux et la sécurité sociale, le coût des écoles, logements, repas ou denrées alimentaires fournis par l'entreprise, ainsi que les transports entre le chantier et le lieu de résidence. Certains sont obligatoires, d'autres font l'objet de négociations avec les syndicats, et d'autres encore sont octroyés par l'employeur en sus du salaire proprement dit; ces postes n'existent pas tous dans tous les pays. Leur coût peut être compris entre 20 et 100 pour cent du coût des traitements et salaires proprement dits. Il doit être déterminé cas par cas. En pourcentage des salaires, il est généralement beaucoup plus élevé dans les pays en développement, où le salaire proprement dit est d'habitude bien moins élevé que dans les pays plus industrialisés. Ainsi, dans une entreprise de Colombie, le coût des avantages marginaux dont bénéficient les ouvriers des équipes d'exploitation représente 60 pour cent de l'enveloppe, qui est de 2,25 dollars E.-U. par jour, c'est-à-dire un supplément de 1,35 dollar E.-U. par jour. Dans les exploitations de l'est du Canada, où les bûcherons touchent environ 40 dollars E.-U. par journée de huit heures, les conducteurs de matériel mobile lourd environ 48 dollars E.-U., et les ouvriers aux pièces environ 65 dollars E.-U. par jour, le coût des avantages marginaux est de l'ordre de 25 à 30 pour cent de celui du salaire, c'est-à-dire qu'il est compris entre 10 et 15 dollars E.-U. par jour.

Lorsqu'il n'y a pas de machine, le coût de la main-d'oeuvre par unité de production est exprimé par le quotient ci-dessous:

$$\frac{\text{Coût direct de la main-d'oeuvre pour une période} \times (1 + f)}{\text{Nombre d'unités produites pendant la période}}$$

où f = coût des avantages marginaux exprimé en pourcentage du coût direct de la main-d'oeuvre.

Le coût des conducteurs doit être compris dans le prix de revient de l'heure/machine.

3.3 Machines

3.3.1 Généralités

Il existe plusieurs manuels décrivant les diverses méthodes pouvant être employées pour déterminer le coût d'opération du matériel. Samset (11) cite une méthode rapide d'évaluation approximative de ce coût (opérateur non compris). La Caterpillar Tractor Company donne, dans son livret d'explications, les données à employer pour estimer le coût des divers facteurs si l'on veut appliquer une méthode plus classique. Le Comité des exploitations de la section des forêts de l'Association canadienne de la pâte et du papier recommande une méthode permettant d'estimer le coût du matériel d'exploitation, méthode qui reste dans l'ensemble valable et applicable à tous les types de machines forestières (10). Elle tient compte des variations des prix d'achat, des taux d'intérêt, des prix du carburant, du coût des opérateurs et, en général, des coûts liés à l'inflation.

Ces méthodes présentent entre elles des différences plus ou moins importantes et aucune d'elles n'est parfaite. Dans certains cas, les différentes façons de traiter l'amortissement, le salaire des opérateurs, les avantages marginaux, etc., sont dues aux politiques de l'entreprise ou aux méthodes de comptabilité. D'autres différences s'expliquent par l'unité de temps à laquelle le coût est rapporté: on emploie normalement le mot "heure", mais l'heure peut s'entendre de diverses façons, et il faut bien préciser s'il s'agit des heures des postes de travail, des heures au compteur de la machine, ou des heures/machine productives.

Les machines employées pour les exploitations forestières sont principalement de deux types: celles qui servent essentiellement aux déplacements et les autres. Dans le premier type, on trouve surtout les remorques et camions grumiers. D'autres machines, telles que les tracteurs à chenille, débardeurs ou forwarders, abatteuses-groupeuses, chargeurs, processors, divers types de récolteuses peuvent être considérés comme appartenant au deuxième type: toutes ont des fonctions autres que le roulage. Cette classification a surtout pour but de permettre une évaluation utile du coût horaire de fonctionnement. En effet, si le coût du deuxième type de machine peut être évalué sur la base des heures productives, il faut prévoir pour les véhicules tant par heure de déplacement et tant par heure d'attente. En effet, le coût unitaire est très différent selon que le véhicule est en déplacement ou à l'arrêt et les temps d'attente (chargement et déchargement), ainsi que les distances et vitesses de transport varient beaucoup selon les opérations.

Le coût des machines utilisées pour les exploitations forestières doit être évalué pour la même unité de temps que la production. Dans les pays développés, pour les machines autres que les camions et les remorques, c'est généralement l'heure/machine productive. Pour des machines moins coûteuses, telles que les scies à chaîne, on peut faire des calculs moins détaillés ou adopter une unité de temps plus longue.

3.3.2 Détermination du temps en vue de l'évaluation des coûts

Si, pour chaque poste de travail, le temps machine peut être ventilé entre des facteurs nombreux en vue d'étudier l'utilisation des machines, les causes des interruptions de fonctionnement, etc., il n'est pas nécessaire de procéder de façon aussi détaillée pour évaluer le coût de la machine. Pour les tracteurs, débardeurs, chargeurs et autres machines dont la fonction essentielle n'est pas le roulage, il suffit d'une simple fiche de contrôle, indiquant les temps suivants:

a) nombre d'heures des postes

b) durée des interruptions de travail

c) heures/machine,réparties le cas échéant en heures productives et heures non productives.

Parfois, il suffit d'équiper ces machines d'un compteur pour établir les heures productives: pour cela, il faut que la machine travaille régulièrement et qu'on ne laisse pas le moteur tourner au ralenti pendant ces périodes prolongées.

Dans le cas des véhicules, pour lesquels le roulage est la fonction essentielle, la durée d'utilisation de la machine peut être ventilée en heures d'attente et heures de roulage. Pour évaluer les coûts, on peut compter qu'un véhicule est utilisé aussi longtemps qu'un chauffeur lui est affecté et qu'il est payé en tant que tel, tandis que les heures d'attente peuvent être considérées comme la différence entre les heures d'utilisation et les heures de roulage.

Pour ventiler le temps-machine dans le cas des véhicules de transport, il faut un compteur plus complexe, dit "tachigraphe", tel que l'Argo Kienzle TCO-14, qui fournit en même temps les données suivantes:

a) distance parcourue

b) durée du roulage

c) temps d'attente

d) début et fin du poste.

Ces tachigraphes indiquent généralement aussi la vitesse du véhicule et le régime du moteur (tr/min), données qui servent à contrôler le transport et l'entretien.

3.3.3 Durée de vie des machines

Pour estimer les coûts, on peut admettre que la durée de vie des divers types de machines s'établit comme il est indiqué dans le tableau ci-dessous, compte tenu des observations qui suivent:

Machine	Durée normale de vie en heures
tracteurs à chenille)	
niveleuses)	
abatteuses-groupeuses)	
chargeurs 1/)	8 000 - 12 000 (normale: 10 000) 1/
processors)	
récolteuses)	
forwarders)	
débardeurs à roues	6 000
camions grumiers 2/	15 000 - 20 000 2/
scies à chaîne	1 500

La durée des engins mobiles dépend de nombreux facteurs: conditions de travail, qualifications des opérateurs et des mécaniciens, disponibilité des pièces de rechange, vieillissement technique des machines et, dans les pays tropicaux, climat. Au Canada oriental, la durée des gros tracteurs à chenille (175 ch et au-delà) dépasse souvent 15 000 heures au compteur, et les coûts des réparations et de l'entretien n'augmentent pas ou presque pas lorsque le matériel vieillit. Dans certains pays en développement, où les opérateurs et les mécaniciens sont peu qualifiés ou négligents, ou bien lorsque le nombre d'heures annuel d'utilisation est si faible que le matériel est périmé avant d'être usé, la vie d'un tracteur ne dépasse parfois pas 8 000 heures.

On peut en dire autant des niveleuses, abatteuses-groupeuses, chargeurs, processors, récolteurs et forwarders. A mesure que les fabricants de matériel détectent les défauts et améliorent les points faibles de leurs machines ainsi que les services après vente, la durée de vie probable des machines augmente. Par exemple, pour un groupe de 50 récolteurs Koehring, le taux de disponibilité a augmenté ces dernières années, passant de 65-70 pour cent à 75-84 pour cent,et l'espérance de vie est de 20 000 heures au compteur. Il s'agit là d'une machine articulée très complexe, conduite par un seul homme, et qui abat l'arbre, coupe les

1/ Les valeurs les plus élevées correspondent aux machines lourdes, plus coûteuses, telles que la Koehring Short Wood Harvester, récolteuse de bois courts, qui pèse plus de 40 tonnes à vide et dont on peut attendre plus de 20 000 heures de service, si elle est utilisée judicieusement et si elle n'est pas techniquement dépassée entre temps.

2/ Heures d'utilisation: 15 000 lorsque les distances de transport sont longues et que le matériel circule pendant l'essentiel du temps; 20 000 lorsque les distances sont si courtes qu'environ 40 à 60 pour cent du temps du voyage aller-retour est absorbé par le chargement, le déchargement et les divers retards, de sorte que le nombre d'heures de roulage est d'environ 10 000 heures productives.

branches et les cimes, tronçonne le tronc en grumes de 2,50 m, les réunit dans un cadre de 15 m^3 monté sur l'arrière du châssis, transporte le bois jusqu'au bord de la route, le décharge sur le grumier ou la remorque, ou l'empile sur place, le tout avec une production de 6 à 9 m^3 par heure/machine productive.

3.3.4 Calcul du coût de fonctionnement des machines

Le coût horaire des machines est la somme de divers facteurs:

a) amortissement
b) intérêt sur l'investissement moyen
c) assurance: risque aux tiers et dégâts matériels, feu, etc.
d) impôts annuels, y compris la licence, mais non l'impôt sur les carburants
e) opérateur(s)
f) carburant (y compris l'impôt)
g) huile et graisse
h) service et réparations (sauf les pneus dans le cas des véhicules)
i) pneus (dans le cas des camions et remorques)

Ces éléments sont étudiés de façon détaillée à l'annexe H.

Le formulaire A pour le calcul du coût des machines peut être utilisé pour estimer le coût unitaire de n'importe quelle machine (y compris le coût de l'opérateur ou des opérateurs). Pour la plupart des machines, l'unité est l'heure productive. Pour les scies à chaîne et autres petites machines, on peut employer des unités plus grandes telles que le "jour". Pour les camions et remorques, on doit considérer l'heure d'attente et l'heure de roulage,comme il est expliqué dans la section 3.3.1.

Le coût par heure productive (non compris l'opérateur) pour les machines qui travaillent en forêt hors routes, y compris les tracteurs à chenille, peut être estimé approximativement suivant la formule:

$$C = \frac{2,4\ A}{LE}$$

où C = coût d'exploitation en dollars E.-U. par heure de machine productive (non compris l'opérateur)

A = coût d'acquisition en dollars E.-U.

LE = espérance de vie, en heures/machine productives (cf section 3.3.3)

On notera que cette formule ne s'applique par aux véhicules et qu'elle doit être considérée comme approximative pour les autres machines. Des méthodes plus exactes devront être adoptées si l'on veut des valeurs plus précises. Cette formule est toutefois utile pour permettre des comparaisons rapides.

3.3.5 Unités de puissance

Les unités de mesure de la puissance (symbole P),recommandées par l'Organisation internationale de normalisation,dans le système international d'unité (SI) sont les watts (W) et non plus les chevaux vapeur (ch). Mais comme les usagers du présent manuel sont peut-être plus habitués aux ch qu'aux W et que les spécifications des machines sont généralement encore libellées en ch, on a employé dans tout le présent manuel le cheval vapeur officiel des Etats-Unis et du Canada.

1 ch nord-américain = 33 000 pieds/livre/minute = 746 watts

FORMULAIRE A

ESTIMATION DU COUT D'EXPLOITATION DES MACHINES

Machine: Description _____

Puissance brute en ch _____ Prix rendu chantier _____

Durée de vie en années _____ Heures (ou jours) par an _____ Vie _____

Carburant: Type _____ Prix par litre _____

Pneus: Format _____ Type _____ Nombre _____

Coût d'un jeu de pneus _____

Opérateur: Tarif horaire (ou journalier) _____ Avantages marginaux ___ % (Pourcentage des coûts directs)

Eléments du coût	Coût par heure (ou par jour)
a) Amortissement = $\frac{\text{Prix rendu chantier} \times 0{,}90}{\text{durée de vie en heures}}$	_____
b) Intérêts = $\frac{\text{Prix rendu chantier} \times 0{,}60 \times \text{taux d'intérêt}}{\text{nombre moyen d'heures par an}}$	_____
c) Assurance = $\frac{\text{Prix rendu chantier} \times 0{,}60 \times 0{,}03}{\text{nombre moyen d'heures par an}}$	_____
d) Impôts = $\frac{\text{Montant de l'impôt annuel}}{\text{nombre moyen d'heures par an}}$	_____
e) Main-d'oeuvre = $\frac{\text{Main-d'oeuvre pour la période} \times (1 + f)}{\text{nombre d'heures/machine pendant la période envisagée}}$	_____

où f = le coût des avantages marginaux, exprimé en pourcentage du coût direct de la main-d'oeuvre

Total partiel 1/ _____

f) Carburant = GHP x X x CL _____

où GHP = puissance brute en ch

CL = coût du litre du carburant en dollars E.-U.

X = 0,12 pour le carburant diesel, et 0,175 pour l'essence

1/ Coût des véhicules par heure d'attente.

.../

g) Huile et graisses = $\frac{GHP \times X}{100}$ _____

où X = 0,20 pour les tracteurs, débardeurs, chargeurs frontaux et camions

X = 0,30 pour les abatteuses-groupeuses et les chargeurs à flèche articulés

X = 0,50 pour les processors, récolteuses et forwarders

h) Services et réparations* = $\frac{\text{coût rendu chantier}}{\text{durée de vie en heures**}}$ _____

* Y compris les pneus, sauf pour les véhicules de transport.

** Dans le cas des véhicules de transport, on utilisera le nombre d'heures de roulage pendant la durée de vie

i) Pneus pour les véhicules de transport = 0,0006 x C.S.T. _____

où C.S.T. = le coût de remplacement d'un jeu de pneus.

Total 1/ _____

1/ Coût des véhicules par heure de roulage, et coût des autres machines par heure productive.

La puissance brute est la puissance au volant d'un moteur comprenant seulement un système de carburation, une pompe à eau, une pompe à huile et un filtre à air, dans des conditions standards SAE (J816a) de température et de pression. Ces normes sont appliquées pour le calibrage des moteurs en Amérique du Nord et permettent de comparer les moteurs sur une base uniforme. En Amérique du Nord, c'est généralement la puissance brute qui est indiquée et c'est sur cette base qu'est calculée la consommation de carburant.

La puissance nette est la puissance au volant lorsque le moteur compteur un ventilateur, un alternateur ou générateur, un compresseur d'air (s'il en existe un), un pot et un tuyau d'échappement et d'autres accessoires facultatifs, outre ceux qui sont indiqués au paragraphe précédent. La puissance nette varie donc selon les accessoires du moteur et représente normalement entre 85 et 95 pour cent de la puissance brute.

Les pays ayant adopté le système métrique emploient la puissance DIN pour exprimer la puissance des moteurs, calculée selon la norme allemande (DIN 6770); les températures et pressions de référence ne sont pas les mêmes que pour les normes SAE J816a, non plus que les accessoires du moteur. On peut employer les équivalents ci-dessous:

1 cv métrique = 736 watts

de sorte que 1 cv nord-américain = 1,014 ch métrique.

4. STRUCTURE D'UNE ROUTE

Les routes forestières, comme les grandes routes à revêtement dur, sont des travaux du génie. Toutes comprennent deux éléments: la sous-couche et le revêtement. La figure 1 indique certains des termes habituellement utilisés pour désigner divers éléments de la structure (5).

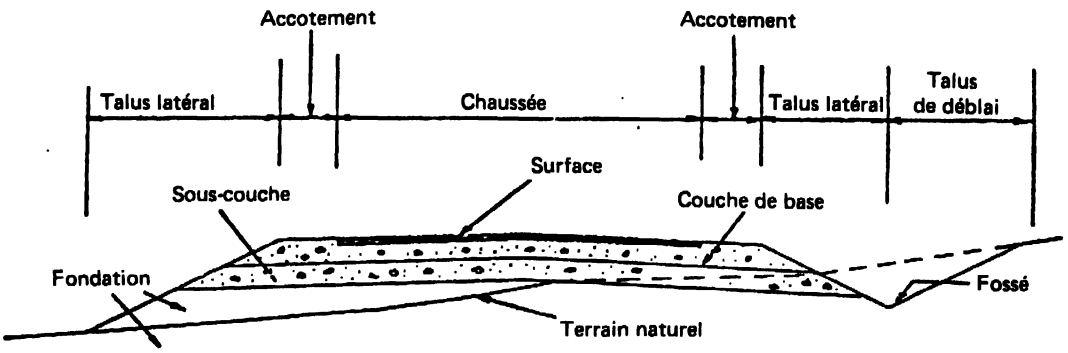


Figure 1 Coupe d'une route-type

La sous-couche est normalement faite en matériaux trouvés sur l'emprise de la route ou à proximité. Quand il y a déblai, le côté amont repose sur le sol naturel intact et le côté aval sur des matériaux de report provenant du déblai, qui sont déplacés au bulldozer et compactés. Dans les parties construites en remblai, la sous-couche est construite avec des matériaux obtenus dans les déblais ou dans des emprunts et amenés au bulldozer ou autrement.

On emploie normalement le terme "revêtement" pour désigner la couche de ciment ou d'asphalte d'une route à revêtement dur. Mais, du point de vue de l'ingénieur, le terme désigne tout le matériel placé au-dessus de la fondation. Dans une route bien conçue, il comporte trois couches: couche de roulement, couche de base et sous-base. En principe, la portance de ces couches devrait augmenter de bas en haut; c'est généralement le cas dans les routes publiques de grande qualité construites en vue d'une circulation intense et pour une longue durée. Mais, dans de nombreuses routes forestières, une seule couche de gravier tout-venant peut remplacer les trois couches. Au Canada oriental, pour certaines routes de longue durée ou soumises à une circulation intense, le revêtement comprend une couche de base de gravier grossièrement concassé (jusqu'à 5 à 6 cm de diamètre) et une couche de roulement de matériel concassé plus finement (1 à 2 cm).

5. CONSIDERATIONS GENERALES

Dans la plupart des pays, la loi et les règlements limitent la charge brute des véhicules pouvant circuler sur le réseau routier public. Ces restrictions varient en fonction de la portance nominale de la route, de la capacité des ponts et de la saison dans les pays où il y a une période de fortes pluies ou de gel. La charge maximum autorisée est généralement fixée en fonction de la largeur du pneu (telle qu'elle est indiquée sur le pneu par le fabricant), du poids brut par essieu au point de contact avec la route, et du nombre et de l'espacement des essieux. Dans certains pays, on ne tient pas compte du poids par essieu, non plus que de l'espacement des essieux, et le règlement repose exclusivement sur le nombre d'essieux et le poids brut du véhicule en charge.

Les dimensions extérieures des véhicules - longueur, largeur et hauteur - sont généralement limitées sur la plupart des routes publiques, qu'il s'agisse de camions ou de combinaisons, circulant en charge ou à vide, sauf autorisation spéciale et temporaire. Dans de nombreux pays, la puissance des freins, par exemple (aptitude à maîtriser le véhicule chargé en descente) ou la distance d'arrêt dans des conditions déterminées de revêtement et de traction) est aussi réglementée (6).

Par ailleurs, les routes privées - les routes forestières appartiennent généralement à cette catégorie - ne sont soumises à aucune réglementation de ce genre, à moins que des lois spéciales n'aient été promulguées pour protéger les autres usagers autorisés à les emprunter. La longueur et la largeur maxima des véhicules sont généralement beaucoup plus grandes et la charge par essieu beaucoup plus lourde que sur les routes publiques. En pratique, sur les routes forestières, la charge par essieu et celle du véhicule dépassent souvent non seulement la capacité nominale de la route mais la capacité nominale des pneus, des essieux, de l'accouplement ou d'autres éléments du véhicule. Par exemple, des semi-remorques à cinq essieux peuvent normalement transporter une charge brute de 32 000 à 36 000 kg sur les meilleures routes publiques, mais cette charge atteint souvent 50 à 55 000 kg sur des routes forestières privées, quelle que soit leur catégorie. Même si les réglementations applicables sur les grandes routes ne sont pas contraignantes pour les routes forestières, il faut s'efforcer par tous les moyens possibles d'assurer une répartition optimale de la charge entre les essieux. Cette question est traitée dans la section 4 de l'annexe C.

6. CLASSIFICATION DES ROUTES FORESTIERES

6.1 Système de classification

Les routes forestières peuvent être classées de diverses façons. Le Service des forêts des Etats-Unis a élaboré un système de classification, qui est reproduit à titre d'exemple à l'annexe A. Il est fondé sur la vitesse de croisière pouvant être maintenue sur chaque type de route. Le tableau des coûts de transport mérite d'être étudié pour plusieurs raisons.

a) il donne des coûts de transport ventilés entre coût de l'attente par unité de volume plus coût du roulage par unité de volume et par unité de distance, (le coût de l'attente par m^3 englobe le temps de chargement, de déchargement et les retards; le coût de roulage est donné par m^3/km);

b) il indique que le coût de roulage par m^3/km varie pratiquement en raison inverse de la vitesse (ce qui justifie la pratique consistant à évaluer le coût des véhicules par heures);

c) il indique que les véhicules à essieux couplés sont plus économiques que les véhicules à essieux simples.

Le manuel de la FAO sur l'exploitation et le transport des grumes en forêt dense tropicale (1) classe les routes en deux grandes catégories: routes d'accès et routes d'alimentation (ou de service).

Formation d'une route forestière principale en terrain de colline

Il reprend la classification du manuel de la FAO sur l'exploitation des peuplements artificiels dans les pays en développement (2), à savoir:

a) routes de transport

i) routes principales ou grand-routes

ii) routes secondaires

iii) routes de service (routes d'alimentation)

b) épis routiers (pistes de débardage)

c) routes d'accès.

Mais cette classification n'indique pas les spécifications suivies ou à suivre pour la construction des routes. Les termes indiquent les normes comparatives de chaque type de route et leur place dans le réseau. Pour établir des spécifications plus précises, il faut davantage d'informations: charge brute du véhicule et charge par essieu, largeur hors tout de la charge, type et espacement des essieux, vitesse de croisière prévue, densité de la circulation et possibilité (ou non) d'utiliser les routes en toutes saisons.

Paterson (3), dans une étude sur les routes forestières au Canada oriental, propose que les routes forestières soient classées selon les facteurs suivants:

a) la charge par essieu ou l'équivalent obtenu en convertissant les charges par essieux doubles ou triples à une charge nominale par essieu sinple au moyen du tableau 33 de l'annexe B;

b) la densité de circulation - le nombre maximum journalier de passages de la charge nominale par essieu sur la route pendant la durée de vie prévue pour la route;

c) la vitesse de croisière sous laquelle le véhicule ne doit pas tomber pour d'autres raisons que les encombrements; elle dépend de facteurs géométriques tels que largeur, bombement, visibilité, etc.;

d) les saisons pendant lesquelles la route est praticable (périodes de l'année pendant lesquelles la route doit être utilisée dans des circonstances normales);

e) la durée de vie prévue, en années.

6.2 Routes de transport

Les routes de transport sont le réseau routier sur lequel les grumes voyagent entre les dépôts de bois secondaires ou parfois primaires et la fabrique ou le point d'expédition si le bois est écoulé à l'état brut. Les dépôts à bois primaires sont les zones, dans la coupe, où les grumes prêtes sont d'abord groupées ou laissées sur place. Les dépôts secondaires sont des zones de bord de route où les grumes sont amenées par câble, tracteur ou forwarder, à partir de la souche. Normalement, le dépôt primaire est situé dans un rayon de 20 mètres de la souche et le dépôt secondaire dans un rayon de 400 mètres.

Le réseau de transport routier comprend toutes sortes de routes, depuis les principales, à proximité de l'usine ou du point d'expédition, jusqu'aux dernières ramifications des routes d'alimentation. Normalement, les routes d'alimentation débouchent sur des routes secondaires et celles-ci sur des routes principales. Les routes peuvent être privées, mais le transport des grumes peut emprunter en partie le réseau public et doit dans ce cas en respecter le code. Les routes privées peuvent aussi être soumises à des réglementations officielles limitant la dimension des véhicules, leur poids brut et le poids par essieu, la vitesse, ou imposant des normes de sécurité, etc.

On devrait normalement construire les routes ou les améliorer selon des normes correspondant à la densité prévue de véhicules en pleine charge. Cependant, dans certaines circonstances exceptionnelles, on peut se contenter de normes moins élevées, par exemple quand la portance du sol est très faible, que la route est courte, que le volume à transporter est peu important, que le matériel de construction manque et qu'il est bien évidemment plus économique de transborder des charges partielles à la jonction avec une voie répondant à des normes plus élevées que d'améliorer la route considérée.

Dans les pays tempérés où le sol gèle en hiver, sur des sols à faible portance, le transport des grumes se fait souvent en hiver; cela permet de réduire les coûts de construction des routes et de transporter des charges complètes. Dans ces conditions, l'espacement optimal des routes d'alimentation et les distances de débardage optimales diminuent, ce qui, en général, réduit sensiblement les coûts d'exploitation. Le gel peut multiplier par 8 ou 10 la portance du sol, selon sa profondeur de pénétration. Dans les pays tropicaux, les grumiers ne parcourent normalement les zones les plus critiques qu'en saison sèche. Si le grand axe de transport emprunte une partie du réseau routier public, construit selon des normes peu élevées et pour lesquelles il n'existe aucun plan d'amélioration, il ne faut pas choisir des véhicules conçus pour des routes de meilleure qualité, ni construire les autres routes pour une charge supérieure à celle que peut supporter le réseau principal.

Les grandes routes, ou routes principales, où la circulation est dense et rapide, doivent être assez larges pour que deux camions, l'un en charge et l'autre à vide, puissent se croiser sans danger, n'importe où, sans réduire leur vitesse, surtout si la visibilité n'est pas parfaite. La largeur optimale de chaque voie d'une route à deux voies doit dépasser de 1,2 m la largeur hors tout du véhicule ou de la charge (3) de sorte que la largeur à prévoir sur les plans dépendra de la largeur maximum du véhicule ou de la charge adoptée pour l'exploitation. Par exemple, la largeur maximum de charge autorisée par la loi est de 2,44 m sur la plupart des grandes routes des Etats-Unis et de 2,59 m sur la plupart des routes publiques du Canada. Elle était de 2,5 m en Suède en 1969, mais devait être portée à 2,65 m. Lorsque l'itinéraire n'emprunte pas de route publiques, il arrive que la charge de produits forestiers bruts atteigne 3 m, 3,5 m et, dans le nord-ouest (région du Pacifique) jusqu'à 4,5 m, de sorte que les routes doivent être plus larges.

Parfois, lorsque la largeur des routes forestières n'est pas suffisante, les traverse sont articulées côté circulation (pour permettre le croisement) et relevées pour le retour à vide afin de réduire la largeur du véhicule et de faciliter le croisement des véhicules en charge.

Dans les forêts naturelles des régions tempérées, où la durée de révolution peut être comprise entre 50 et 100 ans, les routes d'alimentation sont généralement temporaires et on les abandonne une fois que la zone qu'elles desservent a été exploitée.

Par contre, dans les plantations, elles doivent être construites pour durer et être capables de supporter le poids brut prévu des véhicules. Ce sont des routes à voie unique, parfois dépourvues d'accotements, ou presque, et même de fossés. Les véhicules se croisent dans des garages aménagés à des intervalles appropriés. La densité de la circulation est faible et les périodes d'utilisation sont généralement brèves.

Les routes secondaires ont une largeur intermédiaire entre celle des routes d'alimentation et celle des routes principales; les accotements sont généralement plus étroits que pour les routes principales. Les véhicules peuvent se croiser, mais ceux qui sont en charge ont priorité. Les véhicules retournant à vide et les autres véhicules doivent dévier sur l'accotement et au besoin s'arrêter pour permettre au véhicule chargé de passer sans ralentir et sans danger.

Les spécifications des routes pour le transport des grumes sont décrites plus en détail à l'annexe C.

6.3 Routes d'alimentation

Les routes d'alimentation, situées dans la zone exploitée, constituent les ramifications extrêmes du réseau de transport. Elles permettent aux ouvriers d'accéder au parterre de la coupe et de réduire les distances de débardage. Elles sont strictement temporaires et sont généralement abandonnées après l'exploitation. Leurs spécifications sont donc les plus basses compatibles avec la fonction qu'elles doivent remplir. En terrain ferme, ce sont souvent simplement des routes à voie unique ouvertes au bulldozer, avec un dispositif de drainage minimum (fossés ou autres); il n'y a de revêtement de gravier que sur certains tronçons difficiles. Quand le sol a une faible portance, il arrive qu'elles ne soient utilisables que par temps sec ou quand le sol est gelé. La question de l'entretien n'est généralement guère prise en considération.

L'espacement des routes d'alimentation doit être calculé de telle sorte que le coût de construction par m^3 de bois récolté dans la zone desservie soit égal au coût du déplacement par tracteur ou forwarder. On obtient ainsi l'espacement ou la densité optimum des routes d'alimentation. Cet optimum varie en fonction de plusieurs facteurs: celui des routes d'alimentation, charge utile des tracteurs ou forwarders, vitesse de déplacement et coût de fonctionnement des engins, densité du peuplement ou volume récolté à l'hectare et coefficient de correction pour tenir compte de l'attente et du ralentissement dû à la sinuosité des pistes, des routes d'alimentation, etc. On traite de façon plus détaillée de l'espacement des routes d'alimentation dans l'annexe D.

Lorsque les grumes sont traînées ou portées par des hommes ou par des animaux, le même principe s'applique théoriquement pour l'espacement optimal des routes d'alimentation. Mais, en pratique, les distances de débardage, et par conséquent l'espacement des routes d'alimentation, sont dictés par la fatigue qu'engendre chez les hommes et les animaux un effort trop long. C'est pourquoi le débardage manuel ne se fait normalement pas sur des distances excédant 50 à 60 m; quand on utilise des animaux, on compte le double de cette distance.

6.4 Pistes

Entre la souche et le dépôt de bord de route, les grumes sont transportées par tracteurs ou forwarders sur des pistes de débardage. En terrain plat ou ondulé, les engins passent simplement sur le sol forestier naturel, sans défrichement ni passage du bulldozer préalables. En forêt tropicale, on a souvent recours à des tracteurs à chenille, qui ont une grande capacité de pénétration, pour dégager la piste de débardage et concentrer les grumes en des points où elles sont reprises par des débardeurs à roues, de 130 à 180 ch, plus rapides et plus économiques. Les nouveaux débardeurs de 300 ch pourront pénétrer jusqu'à l'arbre abattu sans être précédés du tracteur à chenilles, et débarder la charge directement de la souche au bord de la route.

En terrain accidenté, les forwarders et les débardeurs à pneus circulant sur le sol naturel doivent se déplacer perpendiculairement aux courbes de niveau. Quand il n'y a pas de plateforme permettant le demi-tour, ils doivent monter en marche arrière jusqu'au point de chargement, parfois avec l'aide d'un treuil ancré à un arbre ou à une souche, ou bien arriver au sommet de la piste de débardage en empruntant une boucle en pente moins forte ouverte au bulldozer. Dans certains cas, sur sol ferme en pente uniforme, on peut ouvrir au bulldozer des pistes de débardage obliques par rapport à la pente.

6.5 Routes d'accès

Dans le contexte du présent manuel, on entend par routes d'accès les voies reliant les centres où se trouvent la main-d'oeuvre, le matériel et l'administration aux forêts. Le terme est purement fonctionnel et ne signifie rien quant à la qualité de la route.

Certaines routes d'accès peuvent être ou devenir des routes principales de transport; dans ce cas, elles doivent répondre aux spécifications de ces dernières. Si une

route d'accès fait partie d'un réseau dont les normes sont basses, il faudra l'améliorer. Si l'Etat n'a pas de projet dans ce sens, que l'entrepreneur ne souhaite pas le faire et que la charge par essieu est limitée, il ne faut pas adopter une capacité plus élevée pour le reste du réseau.

7. TRACE DES ROUTES FORESTIERES

7.1. Procédure générale

Le tracé des routes forestières destinées à permettre d'accéder à une forêt et de l'exploiter est généralement déterminé à la suite d'un inventaire des ressources et de la décision d'établir une industrie forestière. Il doit se faire avec le plus grand soin. Il est essentiel de limiter au minimum les pentes et les virages et de choisir un tracé optimal. En terrain plat ou ondulé, il n'est généralement pas très difficile d'établir un tracé rationnel, mais les terrains de colline et de montagne peuvent poser de nombreux problèmes.

L'ordre logique des opérations préparatoires est le suivant:

a) premièrement, examiner le plan d'aménagement et d'exploitation afin de déterminer quelle partie de la forêt doit être desservie la première et par conséquent quelle doit être la direction générale des routes;

b) s'assurer des spécifications à adopter: rayon minimum des courbes, pente maximum, types de véhicules, poids des charges, vitesse du transport, etc.;

c) choisir un alignement provisoire à partir de photographies aériennes stéroscopiques, de cartes topographiques et de ce que l'on sait de la géologie, de la pédologie et de la classification des terres de la zone;

d) vérifier sur place l'alignement du tracé proposé, les pentes, les virages, les conditions pédologiques, les eaux à drainer, les affleurements rocheux et le travail de terrassement, les cours d'eau à traverser, les ressources en gravier et autres matériaux, etc.

Des photographies aériennes stéréoscopiques au 1:10 000ème ou 1:20 000ème sont parfaitement utilisables pour déterminer le tracé des routes. Les photographies au 1:50 000ème utilisées dans divers pays donnent quelques indications, mais il faut ensuite beaucoup plus de travail sur le terrain. Le premier travail de vérification sur le terrai peut être confié à une équipe de deux ou trois hommes utilisant une chaîne d'arpenteur de 30 m, une boussole et un clisimètre ou même par un seul homme comptant ses pas se servant d'une boussole et d'un baromètre anéroïde.

Un photo-interprète ayant appris à identifier les sols à partir de photographies aériennes stéréoscopiques doit pouvoir distinguer les différents grands types de sols si l'échelle des photographies est suffisamment grande, mais c'est seulement un examen sur place du tracé proposé, vérifié au besoin par des essais de laboratoire, qui donnera à l'ingénieur des données sûres concernant le type de sol sur lequel la route doit être construite.

7.2 Tests pédologiques sur le terrain

Johann Eisbacher (15) décrit des méthodes visuelles et manuelles qui peuvent être appliquées sur le terrain ou à proximité par des personnes expérimentées procédant avec sc On peut déterminer visuellement la dimension des particules de sol dans la limite de ce qui est visible à l'oeil nu (la classification ainsi obtenue est grossière) ainsi que de l couleur du sol. Pour les sols fins, on applique des méthodes manuelles qui permettent de déterminer:

a) la stabilité à l'état sec: est-ce que les mottes se brisent facilement lorsqu'elles sont sèches ou bien résistent-elles à la pression?

b) réaction des sols, en particulier des sols limoneux, lorsqu'on les secoue dans la main;

c) plasticité du sol et teneur en limon et en argile, déterminées par pétrissage;

d) proportion de sable, de limon et d'argile, déterminée en écrasant un petit échantillon entre les doigts, parfois sous l'eau;

e) teneur en argile obtenue en coupant au couteau un échantillon de sol humide.

On a proposé et utilisé d'autres systèmes de classification des sols en fonction de la dimension des particules. Pour les constructions routières, le système le plus utilisé en Amérique est probablement celui de l'AASHO (American Association of State Highway Officials), basé sur le système de l'ASTM (American Society for Testing and Materials), qui permet de classer les particules du sol selon la dimension en utilisant des tamis de divers maillages. Ce système est suffisant, avec l'indice de plasticité du sol déterminé en laboratoire, pour obtenir toutes les informations nécessaires pour la construction des routes.

On peut se demander si ces méthodes empiriques et économiques ne sont pas le plus souvent suffisantes pour établir le tracé des routes forestières, pourvu qu'elles soient appliquées avec soin. Rappelons que toutes les routes doivent desservir les coupes, ce qui parfois ne laisse guère le choix quant à leur tracé.

7.3 Erosion

Les routes forestières doivent être tracées de façon à limiter ou éviter l'érosion. Celle-ci est généralement provoquée par la pluie en temps humide et par le vent en temps sec. Plus les gouttes de pluie sont grosses et plus forte sera l'érosion. Elle pose généralement des problèmes graves lorsqu'il tombe plus de 25 mm en une heure, comme c'est souvent le cas sous les Tropiques. Son ampleur dans des conditions déterminées dépend des propriétés physiques du sol, de la pente et de la longueur des déclivités et surtout de la couverture végétale. Des sols limoneux, légers, sableux et non compactés s'érodent plus facilement que des sols plus lourds d'argile et bien compactés.

L'érosion se produit sur les pentes des déblais et des remblais, sur les parois, le fond et les décharges des fossés de drainage, sur les accotements et la chaussée. Il faut éviter les pentes trop fortes chaque fois que possible pour réduire la surface de sol exposée en remblai et en déblai. Quand on construit des routes forestières, on donne souvent pour commencer au talus en déblai une pente très forte, et on enlève du fossé le matériel qui s'y accumule à la suite de l'érosion et des glissements de terrain, jusqu'à ce que l'angle d'équilibre soit atteint. Les sols argileux riches en composés de fer ou d'aluminium durcissent lorsqu'ils sont à l'air libre et permettent des talus en pente plus forte.

7.4 Principes généraux

Chaque fois que possible, il faut tracer les routes forestières sur sols bien drainés et ayant une bonne portance. On évitera les limons et les argiles, où la capillarité est trop forte. Les fossés non revêtus devront avoir une pente d'au moins 1 pour cent pour favoriser l'écoulement, faute de quoi les eaux de ruissellement ne pourront être évacuées que par infiltration et évaporation. Les routes forestières devront éviter les cours d'eau en pente trop forte, qui risquent d'être difficiles à maîtriser pendant la saison des pluies ou celle du dégel printanier sans des ouvrages spéciaux.

Les routes forestières étant de plus en plus ouvertes à la promenade, on évitera les déblais et remblais trop voyants. Ils abîment le paysage et cicatrisent lentement. La route doit donc suivre le terrain autant que les spécifications le permettent.

7.5 Routes d'alimentation

Dans les zones où le bois doit être amené par tracteur ou forwarder jusqu'au bord de la route, les routes d'alimentation doivent avoir un espacement et un tracé tels que, rapporté au m^3 de bois transporté, le coût de leur construction en dollars E.-U. soit égal à celui du déplacement par tracteur ou forwarder. C'est ainsi qu'on détermine l'espacement optimal, c'est-à-dire celui qui permet de minimiser le coût global des opérations. On étudie à l'annexe D l'optimisation de l'espacement des routes d'alimentation.

En forêt tropicale, quand on ne doit exploiter que quelques essences précieuses, on prépare souvent une carte-inventaire indiquant l'emplacement de chaque arbre à abattre. En théorie, le même principe s'applique pour la localisation des routes d'alimentation, mais en pratique celles-ci sont dessinées de façon à desservir les zones les plus riches en arbres exploitables afin de réduire les distances de débardage.

7.6 Modèles d'évaluation de deux solutions possibles

Les routes forestières doivent être tracées non seulement de façon à desservir l'exploitation dans des conditions optinales, mais aussi en fonction des problèmes de régularisation des torrents, d'érosion, d'eaux superficielles, de sols à faible portance (sols organiques et limons), etc. Par exemple, il est parfois possible de modifier le tracé d'une route de façon à éviter un muskeg sans réduire la rentabilité.

L'exemple suivant permet d'illustrer le problème:

a) Données de base:

i) la traversée du muskeg entraîne 3 000 dollars E.-U. de frais supplémentaires et permet d'économiser 1,5 minute par rotation, soit 60 heures par an, pendant lesquelles le véhicule ne servirait à rien, car il ne serait pas possible de faire une rotation supplémentaire par poste;

ii) la route doit être utilisée pendant 5 ans;

iii) l'heure de fonctionnement du véhicule coûte 20 dollars E.-U., l'heure d'attente 8 dollars E.-U.;

iv) le coût d'entretien de la route serait le même;

v) l'entreprise paie un impôt de 40 pour cent sur son revenu net;

vi) le taux d'intérêt est de 10 pour cent.

b) La question est: quel tracé choisir?

c) La solution se présente comme suit:

i) Economie annuelle résultant de la traversée du muskeg:

- coût du transport: 60 heures x (20 $ E.-U. - 8 $ E.-U.) = 720 $ E.-U.

- entretien de la route: néant

Total: 720 $ E.-U.

ii) Il semble donc qu'il convient de construire la route à travers le muskeg puisqu'en récupérant chaque année 600 des 3 000 dollars E.-U. supplémentaires de construction, on aurait 120 dollars E.-U. de bénéfice annuel. Mais il faut aussi tenir compte de l'intérêt de l'argent. La valeur actuelle du revenu après impôt pendant les cinq années envisagées doit être calculée selon une des deux formules 1) ou 2) ci-dessous:

1)	économie annuelle brute	720 $ E.-U.
	moins amortissement (3 000 : 5)	600
	Revenu imposable	120
	moins impôt sur le revenu 40 pour cent	48
	Revenu après impôt	72
	plus amortissement	600
	Cash flow annuel	672 $ E.-U.
2)	Cash flow annuel	
	(600 x 0,40) + (720 x 0,60) =	672 $ E.-U.

d) La valeur actuelle d'un cash flow de 672 dollars E.-U. par an pendant 5 ans, le taux d'intérêt étant de 10 pour cent, s'établit comme suit:

672 x 3,791 = ? 550 dollars E.-U.

le coefficient 3,791 étant employé pour actualiser les 5 rentrées annuelles de 672 dollars E.-U.

Il est évident que la route doit contourner le muskeg, puisque la valeur actuelle des économies à réaliser pendant 5 ans (2 550 dollars E.-U.), si on traverse le muskeg, n'atteint pas le coût supplémentaire de la traversée du muskeg (3 000 dollars E.-U.).

8. CONSTRUCTION DES ROUTES FORESTIERES

8.1 Considérations générales

On peut construire des routes forestières pour toutes sortes d'usages, mais le principal est l'exploitation du bois. Ce sont des routes destinées à supporter un trafic lourd et elles doivent être construites en conséquence. Les autres usages, tels que les loisirs ou l'aménagement de la faune, sont secondaires. Les spécifications doivent être uniformes sur tout le réseau, dans la mesure où cela se justifie sur le plan économique; elles ne doivent pas être meilleures que ne le justifie la capacité globale du réseau. Si l'on peut être moins exigeant pour les routes secondaires, et surtout les routes d'alimentation, ces routes doivent toutefois avoir une portance suffisante. En conséquence, le trafic sur les routes d'alimentation peut dans certains cas être limité à la saison du gel ou à la saison sèche. Il faut se rappeler que la capacité d'une route de transport est déterminée par celle de son tronçon le plus faible.

Les méthodes de construction de routes ne varient guère d'une région à l'autre du monde; la principale différence porte sur les proportions relatives de main-d'oeuvre et de machines pour les travaux de formation de la route et des fossés. Pour les routes d'accès, les routes primaires et la plupart des routes secondaires, il faut piqueter l'alignement, la densité du piquetage dépendant de l'importance de la route et de la difficulté du terrain. On marquera les limites de l'emprise. Habituellement, on récupère tout le bois commercial avant de défricher l'emprise et de former la route, surtout lorsque l'on emploie des bulldozers; cette récupération est parfois imposée par la loi. Dans certain cas, il est aussi obligatoire de détruire par le feu ou autrement ou d'enlever tous les arbres et broussailles sur toute la largeur de l'emprise des routes permanentes, que ce soit pour des raisons esthétiques ou pour prévenir les incendies ou encore pour faciliter l'exploitation.

Il peut être nécessaire de détruire des rochers à l'explosif, de concasser le matériau de surfaçage (éventuellement traité à l'explosif) et de stabiliser la fondation dans les thalwegs ou dans les terrains à forte capillarité.

8.2 Coûts - Généralités

Les méthodes et les coûts de construction de routes sont analogues dans le monde entier. Le coût des bulldozers, des niveleuses et du matériel lourd en général employé dans les opérations hautement mécanisées semble largement compensé par les coûts de main-d'oeuvre encourus lorsque ce travail se fait à force d'homme dans certains pays en développement où, en raison du chômage, la main-d'oeuvre est abondante et peu coûteuse. Quand la construction est mécanisée, le coût des machines absorbe normalement 75 à 80 pour cent du coût total, la main-d'oeuvre 10 à 15 pour cent et les matériaux 5 à 10 pour cent.

On trouvera des exemples de coûts de construction de routes en forêt dense tropicale en Afrique occidentale, préparés par Estève et Lepitre en 1972, dans la publication de la FAO sur "L'exploitation des transports des grumes en forêt dense tropicale" (1). Ces estimations portent sur des routes en terrain vallonné en Côte-d'Ivoire et en terrain facile, moyen et difficile au Gabon. On trouvera pour 1977, au tableau 1, les coûts directs totaux, non compris la surveillance et les frais généraux.

Le tableau 2 donne les spécifications adoptées pour les routes par une grande compagnie fabriquant de la pâte et du papier au Canada oriental (en mesures métriques). Aucune estimation n'est donnée pour les routes d'alimentation, car ce sont des voies étroites, temporaires, construites à l'économie, parfois pour un usage saisonnier seulement (quand le sol est gelé). Le tableau 3 donne les coûts de construction moyens pour certaines routes primaires, secondaires et routes d'accès (utilisées parfois aussi pour les transports). Les coûts de fonctionnement des tracteurs et autres machines utilisés pour ces calculs comprennent l'amortissement, l'intérêt et les avantages marginaux du personnel.

Pour surveiller les coûts pendant la construction et établir des prévisions, on ventile souvent les coûts et les heures de travail de la main-d'oeuvre et des machines utilisées pour la construction entre: piquetage, défrichement de l'emprise, formation et nivellement, y compris creusement des fossés, aqueducs, ponts, travail à l'explosif, concassage des graviers et des rochers, épandage du gravier, stabilisation de la couche de fondation et divers. Il arrive que deux ou trois de ces éléments soient regroupés.

TABLEAU 1

COUTS DIRECTS TOTAUX (NON COMPRIS SURVEILLANCE ET FRAIS GENERAUX)
EN DOLLARS E.-U. PAR KM DE ROUTE FORESTIERE: AFRIQUE OCCIDENTALE

Type de route	Route d'accès	Route principale	Route secondaire Latéralité	Route secondaire Non-latéralité	Piste de débardage
Largeur de la route, y compris accotement	10-12 m	8 m	6 m	6 m	4,5 m
Côte-d'Ivoire	6 100	3 700	2 200	1 800	520
Gabon:					
1) terrain facile	12 600	8 800	5 600	4 100	750
2) terrain moyen	14 500	9 900	7 100	5 600	1 450
3) terrain difficile	16 500	12 600	8 600	7 200	1 900

TABLEAU 2

SPECIFICATIONS ADOPTEES PAR UNE GRANDE SOCIETE PAPETIERE AU CANADA ORIENTAL POUR LES ROUTES FORESTIERES

	Normes applicables aux		
	Routes de transport principale	Routes de transport secondaire	Routes d'accès
Conditions d'utilisation			
Durée de vie estimée (en années)	10	2	20
Volume transporté chaque année (estimation en m^3)	300 000	60 000	-
Nombre de mois par an où la route doit être utilisable	10	10	12
Charge maximum	70 t	70 t	70 t
Vitesse maximum	80 km	55 km	80 km
Vitesse moyenne	70 km	50 km	70 km
Type d'aqueduc (bois, acier, béton)	acier ou béton	bois	acier ou béton
Largeur			
Emprise défrichée	30 m	25 m	30 m
Distance entre la ligne médiane des fossés latéraux	10,6 m	8,7 m	9,4 m
Largeur plateforme	9,7 m	7,9 m	8,5 m
Largeur chaussée	7,3 m	6,1 m	6,7 m
Alignement			
Pente maximum en charge	8%	9%	8%
" " à vide	9%	10%	8%
Degré maximum horizontal des courbes	8°00'	12°00'	12°00'
Visibilité minimum	170 m	110 m	170 m
Profil en travers			
Hauteur du sommet	15 cm	13 cm	14 cm
Dévers - remblai	Oui	Oui	Oui
Fossé - sous-couche rocheuse	Oui 1/	Oui 1/	Oui 1/
sous-couche de gravier	Oui	Oui	Oui
sous-couche de sable	Oui	Non	Oui
sous-couche d'argile	Oui	Oui	Oui
Sol			
Indiquer si le sol de fondation est de rocher, de gravier, de sable ou d'argile 2/	-	-	-
Epaisseur minimum de la couche de gravier sur			
sous-couche de rocher	15 cm	10 cm	15 cm
sous-couche de gravier	15 cm	10 cm	15 cm
sous-couche de sable	30 cm	25 cm	25 cm
sous-couche d'argile	30 cm	25 cm	25 cm
Ponts			
Indiquer le type - bois ou acier	-	-	-
Capacité	70 t	70 t	70 t
Largeur du tablier	4,9 m	4,9 m	4,9 m

1/ Si nécessaire
2/ S'il y a plusieurs types de matériau, les indiquer tous.

Note: Les routes de transport répondant à ces normes conviennent aux semi-remorques.

TABLEAU 3

EXEMPLE DE COUTS DE CONSTRUCTION DE ROUTES
AU CANADA ORIENTAL

(sur la base des spécifications données au tableau 1)

Poste	Transport primaire	Transport secondaire	Route d'accès et route de transport
	(coût en dollars E.-U./km)		
Défrichement	$ 2 000	$ 2 000	$ 2 000
Formation, fossé, nivellement	8 000	6 000	7 000
Gravier	2 500	2 000	2 500
Aqueducs	1 000	500	1 000
Total	$ 13 500	$ 10 500	$ 12 500
Largeur de la route, y compris les accotements	9,7 m	8,0 m	8,5 m

8.3 Piquetage, abattage, formation, défrichement, nivellement et travaux divers

Dans la construction d'une route forestière, les principales opérations sont le défrichement de l'emprise, la formation et le nivellement de l'assiette de la route, la construction de fossés de drainage, d'aqueducs et de ponts selon les besoins, le nettoyage des talus de remblai et déblai et leur stabilisation, le cas échéant. Il peut être nécessaire de faire sauter des rochers et de stabiliser la couche de fondation.

Du point de vue de l'ingénieur, la route se compose du revêtement, d'une couche de base et d'une sous-couche, le tout reposant sur une couche de fondation. On a rarement recours à ces distinctions dans la construction des routes forestières. Habituellement, on emploie pour former la route les matériaux trouvés sur place, et on dépose une couche de gravier de l'épaisseur nécessaire pour supporter la charge prévue. Mais bien évidemment, dans certains cas, par exemple sur les sols à faible portance, la couche de base et la sous-couche doivent elles aussi être en gravier ou rocher.

La formation de la route et sa préparation avant l'application du revêtement peuvent se faire en grande partie soit avec des machines telles que les bulldozers et les niveleuses, soit sans machine. Pour les travaux mécanisés, la formule ci-après donne le coût approximatif de la construction et de la préparation de la route, avant épandage du gravier, non compris le travail à l'explosif, la construction des aqueducs et des ponts ni les travaux exceptionnels de stabilisation de la couche de fondation (1).

$$C_i = 230 + 17\ SL + 660\ ST_i + 30\ SL \times ST_i$$

ou:

C_i = coût direct en dollars E.-U. par km pour la route de qualité i (non compris la surveillance et les frais généraux)

SL = pente (en pourcentage) des dénivellations de longueur supérieure à 50 m

ST_i = indice de qualité de la route (voir tableau 4)

Mais, comme les coûts de construction des routes ont augmenté depuis 1972, pour calculer les coûts de 1977 il faut ajuster la formule comme suit:

$$C_i = 370 + 27\ SL + 1\ 050\ ST_i + 48\ SL \times ST_i$$

Cette formule a été calculée pour des routes dans des pays en développement et répondant aux normes de qualité et de largeur (y compris les accotements) indiquées aux tableaux 1 et 4.

TABLEAU 4

VALEUR DE L'INDICE DE QUALITE

Type de route	Largeur, y compris accotements	Valeur de ST_i
Routes d'accès et routes principales de transport	10 - 12 m	3
Routes secondaires	8 - 10 m	2
Routes d'alimentation	5 - 7 m	1
Pistes de débardage	3,5 - 4,5 m	0

Bien que conçue pour les pays en développement, la formule peut s'appliquer aussi aux pays développés. On notera qu'elle ne permet d'obtenir que des résultats approximatifs, qu'elle n'est pas valable pour les routes de crête, et que les routes sont parfois moins larges sur les fortes pentes et doivent au contraire avoir des accotements plus larges sur les sols à faible portance.

On trouvera à l'annexe E un graphique indiquant la productivité relative, le prix d'achat et les coûts de fonctionnement en dollars E.-U. par heure (opérateur non compris) rapportés à la puissance nette ou puissance au volant, pour les tracteurs à chenilles équipés de bulldozers, de cabine de sécurité et de treuil.

8.4 Fossés

La dimension des fossés est déterminée par le débit maximum estimé et les caractéristiques du sol de fondation. Pour les routes d'accès et les routes primaires en terrain bien drainé, un fossé en V profond de 30 à 40 cm en dessous de l'accotement suffit généralement. En terrain plat mal drainé, où il faut évacuer l'eau par percolation ou évaporation, un fossé trapézoïdal de 30 à 50 cm de profondeur et de 40 à 60 cm de largeur doit être prévu, à moins que l'eau ne puisse être évacuée par des drains ou s'écouler dans des fosses ou autres

dépressions. Généralement, pour les routes secondaires les fossés sont moins profonds, à moins qu'il ne faille drainer l'eau de la couche de fondation. Les routes d'alimentation n'ont de fossé que lorsque les eaux non canalisées posent un véritable problème.

Les fossés des talus, généralement en V, sont creusés à l'angledozer ou à la niveleuse, et le matériau d'érosion provenant de la pente en amont peut être repoussé à la niveleuse et évacué par camion ou rejeté vers la pente.

Pour assurer un écoulement satisfaisant des eaux, les fossés des routes forestières doivent avoir une pente d'au moins 1 pour cent. Si la pente dépasse 5 pour cent, il peut y avoir des risques d'érosion. Sur les routes en déblai, il faut disposer des aqueducs assez rapprochés avec une pente de 5 pour cent et canaliser les eaux le long du talus par des tuyaux ou des fossés revêtus. Il est parfois utile de construire un puisard à l'amont de ces aqueducs. Dans le cas d'une route de colline, quand il y a des fossés de part et d'autre, on peut généralement déverser les eaux d'un côté ou de l'autre, sur l'emprise ou dans la forêt.

8.5 Stabilisation des pentes

Il existe plusieurs moyens de stabiliser les longs talus en remblai ou en déblai pour prévenir ou limiter l'érosion des sables fins, limons et autres sols sujets à l'érosion:

a) on peut construire des banquettes ou terrasses continues en courbes de niveaux pour interrompre l'écoulement de l'eau;

b) on peut engazonner ou palisser des bandes continues espacées de 1 ou 2 m;

c) on peut ensemencer les pentes et les couvrir de paille ou autres déchets végétaux pour faciliter la croissance de la végétation (avec éventuellement un apport d'engrais).

Forage mécanisé des trous de mines en terrain rocheux de montagne

Revêtement de bois sous la construction pour éviter l'érosion des talus

On peut atténuer l'érosion des talus de déblai en creusant des fossés au-dessus du talus, à une distance suffisante pour que l'eau qui s'infiltre dans le sol à partir du fond du fossé ne risque pas de provoquer un glissement de terrain. Quand les pentes longues tendent à s'ébouler, on peut construire des revêtements juste au-delà du fossé pour arrêter les pierres et autres débris et stabiliser la pente. Il s'agit généralement d'entretoises à jour en grumes écorcées non traitées ou ayant reçu un traitement qui peut être appliqué sur le terrain.

Sur des routes forestières plus durables, on peut employer, au lieu des rondins, du bois équarri créosoté ou du ciment préfabriqué. Les talus en remblai, sujets aux glissements, doivent parfois être stabilisés au moyen de pieux plantés dans la partie supérieure du remblai.

8.6 Stabilisation de la couche de fondation

En terrain plat ou ondulé, le principal problème que posent le tracé d'une route forestière et sa construction est de trouver des sols bien drainés et ayant une bonne portance et d'éviter les sols organiques (marécage, muskegs et sols à forte capillarité).

L'eau libre dans la couche de fondation d'une route risque de provoquer des problèmes en remontant par capillarité vers la surface de la route. Le tableau 5 indique la capillarité maximum de divers types de sols et la vitesse de remontée. On voit que la hauteur maximum de remontée par capillarité varie en raison inverse de la dimension des particules du sol et que la vitesse de remontée faible dans les sols grossiers augmente quand les particules diminuent, mais retombe de nouveau pour les sols les plus fins.

TABLEAU 5

CAPILLARITE DE DIVERS SOLS (18)

Type de sol	Dimensions des particules en mm	Remontée par capillarité en cm	
		Maximum	Dans les premières 24 h
Gravier de moyen à fin	5 - 2	2 - 3	2 - 3
Sable très grossier	2 - 1	5 - 6	5
Sable grossier	1,0 - 0,5	5 - 15	11
Sable moyen	0,5 - 0,25	13 - 50	21
Sable fin	0,25 - 0,10	40 - 100	38
Sable très fin	0,10 - 0,05	100 - 150	53
Limon grossier	0,05 - 0,02	150 - 200	110
Limon moyen	0,02 - 0,01	150 - 550	48
Limon fin	0,01 - 0,005	400 - 7 000	28
Argile	0,005 - 0,002	1 700	14
Colloïde	0,002	7 000	5

Si la nappe sous-jacente est élevée, on peut en abaisser le niveau en creusant des fossés profonds, qui peuvent être soit ouverts, soit remplis de gravier et refermés (voir fig. 2), qui descendent nettement en dessous de la nappe. Le fossé fermé est coûteux et n'est généralement possible que pour des routes permanentes à grande circulation. L'eau s'écoule horizontalement vers les fossés. Sa vitesse d'écoulement est indiquée au tableau 6. Il en résulte un abaissement de la nappe.

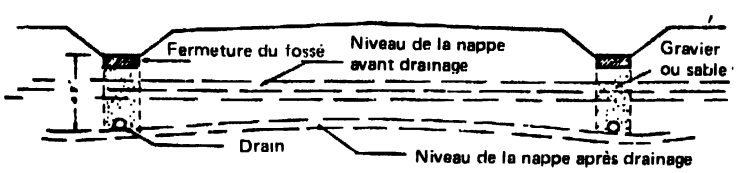


Figure 2 Drainage destiné à abaisser le niveau de la nappe phréatique (18).

TABLEAU 6

DEPLACEMENT HORIZONTAL DE L'EAU LIBRE DANS LES SOLS (18)

Type de sol	Dimensions des particules en mm	Déplacement annuel en cm
Limon	0,01 - 0,2	15 - 50
Sable moyen	0,2 - 0,5	75
Sable grossier	0,5 - 1,0	400
Gravier		1 000

Lorsque la fondation est en sable fin, limon ou argile, qui tous ont une capillarité moyenne à forte, une couche de sable grossier ou de gravier d'une épaisseur égale au double de la hauteur maximum de remontée par capillarité (tableau 5) interrompt la remontée de l'eau et améliore la portance de la route (voir figure 3).

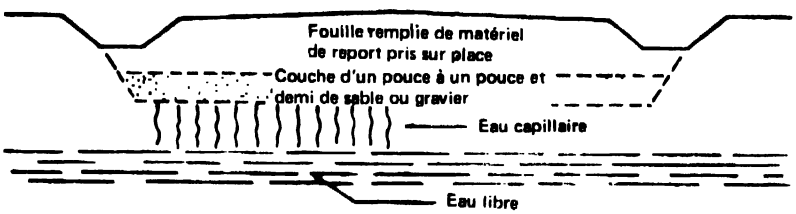


Figure 3 Couche isolante entre la nappe phréatique et la fondation en matériau fortement capillaire (18).

La percolation des eaux vers l'aval à travers une route, entre la route elle-même et un horizon imperméable, peut être interrompue par un fossé profond, équipé ou non d'un drain, comme sur la figure 4.

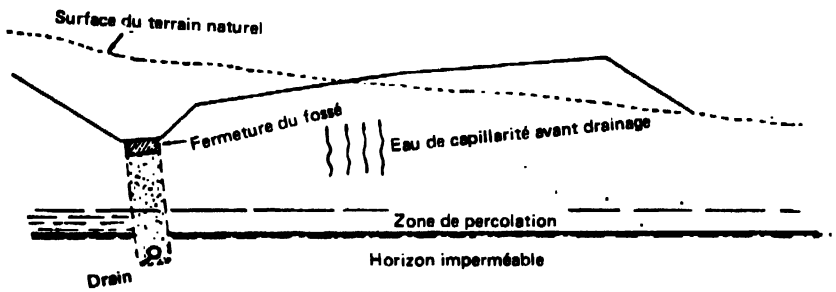


Figure 4 Drainage des eaux de percolation du sous-sol (18).

Pour construire des routes en sols profonds à faible portance, il faut stabiliser la fondation; pour les routes forestières, on y parvient souvent en défrichant et nivelant le sol et en le revêtant de rondins provenant des petits arbres qui poussent sur l'emprise ou à proximité. Dans les forêts tropicales, on superpose généralement deux épaisseurs de grumes d'un diamètre moyen de 10 cm et aussi longues que la route est large. La couche inférieure est disposée longitudinalement et la couche supérieure transversalement par rapport à la route. Les grumes de plus de 10 cm de diamètre sont refendues à la hache. Quand les arbres sont abattus à la hache, transportés et mis en place à la main, la production s'établit en moyenne à 20 m^2 par homme/jour.

Dans certaines forêts tempérées du nord, où l'on rencontre des marécages, des muskegs et d'autres sols à très faible portance, le revêtement de rondins se fait souvent en abattant une partie des arbres poussant sur l'emprise longitudinalement et le reste transversalement par rapport à la route, sans passage au bulldozer.

Sur des terrains défrichés et nivelés, au lieu de poser des rondins contigus, on peut étaler des non-tissés perméables, qui s'achètent en rouleaux, pour stabiliser la fondation. Ces non-tissés ont pour but d'empêcher les éléments fins du sous-sol de remonter et de se mélanger avec le matériel granulaire des couches supérieures et d'empêcher ce dernier de

redescendre, ce qui réduirait la portance de la route. Les non-tissés ne pourrissent pas dans le sol, sont résistants à l'usage, et sont vendus dans diverses largeurs et longueurs. Un homme peut en poser 1 500 m^2 par heure.

On trouve dans le commerce des non-tissés présentant diverses caractéristiques physiques (résistance à la rupture et au déchirement, élasticité, etc.). Le prix varie selon les caractéristiques. Les principaux fabricants sont:

1) Rhône-Poulenc - Textile, Paris (France)

2) Chemie Linz AG, Autriche

3) Celanese Corporation, New York City, USA

Le matériau appelé BIDIM (fabriqué par Rhône-Poulenc - Textile), qui a une résistance à la rupture de 70 kg et un module d'élasticité de 50 à 70 pour cent, coûtait au Canada, en 1974, 1,34 dollar E.-U. le m^2.

On a fait beaucoup d'essais pour mettre au point un additif qui, mélangé au sol, le stabilise et améliore sa portance. Les principaux sont les bitumes, le ciment portland et la chaux éteinte. Mais le sol stabilisé au bitume n'est vraiment résistant que si le sol original était de bonne qualité, c'est-à-dire granulaire, avant l'application du bitume. C'est pourquoi ce procédé n'intéresse généralement guère les constructeurs de routes forestières. De même, les sols qui se prêtent le mieux à la stabilisation par le ciment portland sont des sols granulaires composés de particules allant de 0,10 mm de diamètre (sable fin) à environ 5 mm de diamètre (gravier). Là encore, ce sont des sols dont la portance est bonne et qui n'ont pas besoin de stabilisation. Plus les éléments du sol sont fins, plus il faut de ciment, plus le mélange est difficile et moins appréciables sont les résultats.

En revanche, on peut mélanger de la chaux, généralement éteinte, avec des sols argileux et autres sols fins pour les stabiliser. Dans les Tropiques, les sols argileux contiennent souvent des oxydes de silice ou d'alumine, par exemple dans le haut bassin de l'Amazone. Si l'on y mélange intimement de la chaux par pulvérisation, on obtient des silicates ou des aluminates de calcium, qui tendent à cimenter les particules du sol. Le mélange ainsi obtenu doit être compacté. Il faut le laisser au repos de 4 à 6 mois et le couvrir d'une couche superficielle granulaire. L'annexe F décrit deux projets de stabilisation à la chaux qui ont été réalisés au Canada oriental en 1966 et dont le compte rendu date de la fin de 1968.

8.7 Aqueducs

Les eaux de ruissellement des fossés doivent être évacuées par dessous la route au moyen d'aqueducs disposés à des intervalles appropriés; plus forte est la pente du fossé et plus important le débit de l'eau, plus ces aqueducs doivent être rapprochés. Dans des pentes longues et abruptes, leur espacement peut être de 15 à 20 m et en terrain plat ou ondulé de 100 à 150 m selon les qualités d'absorption du sol. Dans les sols de sable et de gravier, le nombre des aqueducs peut être réduit. Les cours d'eau naturels doivent être canalisés sous la route en prenant soin de perturber au minimum leur écoulement naturel.

Le type de matériau à utiliser pour les aqueducs et le soin apporté à leur construction dépendent en grande partie du temps qu'ils doivent durer. Pour des routes d'alimentation qui ne doivent servir qu'une seule saison, que ce soit dans une forêt tempérée ou dans une forêt tropicale, on ne prévoit généralement d'aqueducs que lorsqu'il y a abondance d'eaux superficielles ou lorsqu'un cours d'eau naturel doit traverser la route. Parfois, il suffit d'empiler dans les ravins ou les dépressions des arbres non commerciaux et de les recouvrir de terre. Mais pour les routes qui doivent servir plus d'une saison, il faut construire des fossés et des aqueducs.

Sur les routes secondaires qui ne sont pas destinées à devenir permanentes, les aqueducs peuvent être en rondins pris sur place, non traités si la route ne doit pas durer plus de 5 à 7 ans. Dans certains pays industrialisés, où les salaires sont élevés, il est maintenant plus économique d'employer sur les routes secondaires des aqueducs en tôle ondulée

Aqueduc en ciment préfabriqué pour l'écoulement naturel des eaux

galvanisée que l'on peut récupérer pour les utiliser ailleurs une fois l'exploitation achevée. Sur les routes permanentes, il faut employer du béton, de la tôle ondulée et galvanisée ou du bois traité, car l'entretien ou le remplacement des aqueducs en bois non traité coûte cher. Tout dépend des rapports de coûts entre les divers types d'aqueducs.

La dimension des aqueducs dépend de plusieurs facteurs: topographie, sol, couverture forestière, dimension du bassin versant, fréquence et intensité des averses soudaines et surtout espacement des aqueducs. Ainsi, on sait bien que le ruissellement est beaucoup plus important là où la végétation a été coupée ou brûlée qu'en forêt. On a mis au point, dans différentes régions du monde, plusieurs formules pour calculer le débit maximum probable dans diverses conditions, mais ces calculs ne s'appliquent pas de façon universelle. Le mieux est sans doute d'observer les traces des hautes eaux, d'examiner les données météorologiques locales (s'il y en a) et de consulter les habitants. Au Canada oriental, une société forestière prend comme hypothèse de travail un ruissellement maximum de 80 pieds cubes par seconde et par mile carré (environ 0,88 m^3 par seconde et par km^2) pour des forêts fortement vallonnées ou accidentées en altitude, et de 60 à 70 pieds cubes par seconde en plaine (18), mais elle avertit que ces valeurs ne sont pas nécessairement valables ailleurs et doivent être utilisées avec prudence.

Le prix approximatif, f.o.b. fabrique au Canada oriental, des tôles galvanisées de l'épaisseur généralement utilisée pour les aqueducs, par longueur de 20 pieds (6,10 m) - mais il existe aussi d'autres longueurs - est indiqué au tableau 7. Les aqueducs en béton vendus par éléments courts coûtent à peu près le même prix à l'usine, mais comme ils sont plus lourds, leur transport coûte plus cher, ce qui les rend moins intéressants dans la plupart des cas. Il faut étudier cas par cas le coût du matériel rendu chantier. Les bois locaux traités sur place, de préférence quarris, seraient dans bien des endroits le matériau le moins cher, mais les coûts d'installation sont bien plus élevés.

Lorsque l'on emploie des bulldozers et d'autre matériel lourd pour former la route et creuser les fossés, ces machines sont aussi utilisées pour creuser les tranchées et les refermer après placement des aqueducs et pour creuser les fossés de drainage permettant d'évacuer les eaux de la décharge des aqueducs. Des buses sont posées sur une couche de sable grossier ou de gravier d'une dizaine de centimètres d'épaisseur, non tassée, afin de permettre aux cannelures de s'y enfoncer. Cette couche de support doit avoir une pente régulière de 3 à 5 pour cent et soutenir toute la longueur de l'aqueduc. Le matériau de report doit être compacté par couches de 6 cm à mesure qu'il est mis en place pour soutenir latéralement les parois de l'aqueduc. Cela peut facilement se faire avec un compacteur manuel à vibration. L'épaisseur du matériau à placer au-dessus de l'aqueduc dépend de l'épaisseur du matériel utilisé pour l'aqueduc lui-même, des caractéristiques du sol, de la charge par essieu et de la vitesse de la circulation. Il est recommandé de recouvrir l'aqueduc d'un matériau ayant une bonne portance, compacté sur une profondeur égale au diamètre de l'aqueduc.

Dans le nord, là où l'eau s'écoule lentement dans les aqueducs, si ceux-si sont d'un diamètre trop faible ou sont trop peu profonds, surtout en terrains exposés, elle risque de geler et de boucher l'aqueduc pendant l'hiver. On peut y remédier en leur donnant une pente plus forte ou bien en employant des aqueducs de bois ouverts vers le bas ou en isolant l'entrée de l'aqueduc au moyen de branches de résineux au début de la saison froide. Les aqueducs dont la pente est trop faible risquent d'être bouchés par les débris, des pierres ou du sable grossier. On peut l'éviter en construisant un puisard à leur entrée et de petits seuils pour les protéger contre l'érosion et diriger l'eau vers l'aqueduc.

De grands aqueducs en béton ou en tôle ondulée galvanisée, placés isolément ou en batterie, peuvent remplacer les petits ponts. Ils sont permanents, coûtent généralement moins cher à construire (mais cela dépend du coût du matériau) et n'exigent pratiquement pas d'entretien. Lorsqu'ils sont en batterie, ils doivent être assez espacés pour que les compacteurs manuels autoportés puissent travailler entre l'un et l'autre. Pour employer les compacteurs, il peut être nécessaire de détourner les eaux du chantier. Mais il ne faut pas employer ce type d'aqueduc quand le cours d'eau charrie des débris de grande dimension qui risquent de boucher les ouvertures.

TABLEAU 7

COUT APPROXIMATIF DES AQUEDUCS CIRCULAIRES EN TOLE ONDULEE GALVANISEE PAR LONGUEUR DE 20 PIEDS (6,10 m) AU CANADA ORIENTAL

Diamètre approximatif en cm	Epaisseur		Coût approximatif f.o.b. fabrique ($ E.-U-)	
	Jauge standard Etats-Unis	mm	par m	Manchons d'assemblage la pièce
30	16	1,59	2,40	2,50
41	16	1,59	3,30	3,30
61	14	1,98	5,00	5,00
91	14	1,98	7,25	7,00
122	12	2,78	12,50	12,00

8.8 Surfaçage

L'épaisseur de la couche de gravier à mettre en place sur une route forestière dépend des caractéristiques du sol, des charges (charge par essieu et espacement des essieux), de la densité et, dans une certaine mesure, de la vitesse de la circulation, et de la saison pendant laquelle les transports ont lieu. Pour certaines routes forestières, il ne faut pas, ou presque pas de gravier, tandis que d'autres, sur sols limoneux ou argileux, peuvent demander une couche de 50 à 60 cm de gravier. Le coût varie considérablement selon que le matériel doit être concassé ou tamisé et selon la distance sur laquelle il doit être transporté.

Le tableau 8 permet de comparer les coûts de surfaçage en gravier tout-venant extraits de la publication FAO "Exploitation et transport des grumes en forêts tropicales"(1) avec des coûts typiques de surfaçage d'une route forestière en 1977 au Canada oriental.

TABLEAU 8

COUTS COMPARATIFS DE SURFAÇAGE AU GRAVIER
(en $ E.-U./m^3 ou $ E.-U. m^3/km)

	Coût selon la publication FAO "Exploitation et transport des grumes en forêt dense tropicale" 1972 1/	Coûts typiques au Canada oriental (1977) 2/
Gravier tout-venant	0,10 - 0,40	-
Chargement:		
1) petites quantités	0,65 - 1,30	-
2) grandes quantités	0,15 - 0,25	
Transport	1,00/m^3 et plus 0,05 par m^3/km	0,40/m^3 et plus 0,075 par m^3/km
Nivelage et passage au rouleau	0,35 - 0,40	0,50 3/

1/ Les coûts correspondant à l'emploi de machines doivent être majorés de 50 pour cent pour obtenir les valeurs de 1977.

2/ Convertis à partir des tarifs de transport du gravier fixés par le gouvernement.

3/ -

Chargement du gravier destiné aux routes principales d'une petite exploitation forestière

Au Canada oriental, au milieu des années soixante, le concassage, le chargement, le transport et le déchargement du gravier tout-venant se faisaient sous contrat au tarif de 2 500 dollars E.-U. le mile (1 550 dollars E.-U. le km) dans les conditions suivantes:

a) main-d'oeuvre et machines fournies par le sous-traitant;

b) distance moyenne de 4 à 5 km;

c) largeur de la route à traiter: 7,3 m;

d) épaisseur de la couche de gravier: 20 cm;

e) le gravier n'est ni étalé ni compacté.

A l'heure actuelle, ces travaux coûteraient probablement le double, c'est-à-dire environ 3 000 dollars E.-U. le km.

Quand le gravier tout-venant est trop grossier et doit être concassé avant d'être mis en place, le coût en tas au concasseur ou chargé sur camion sera compris entre 2 et 3 dollars E.-U. le m^3, selon la dimension du matériau produit. S'il est chargé directement à partir du concasseur, on peut ne pas compter le coût du chargement figurant au tableau 8. Dans certains cas, on emploie des préconcasseurs pour obtenir un matériau grossier (pouvant atteindre de 7 à 10 cm de diamètre) pour la sous-couche et la couche de base, et un concasseur classique pour obtenir le matériau plus fin de surface. Si l'on traite des rochers au explosifs pour obtenir le matériel de surface, le coût en tas à la gravière sera de 5 à 6 dollars E.-U. le m^3.

Entretien d'une route principale à la niveleuse automobile

9. ENTRETIEN DES ROUTES FORESTIERES

L'entretien des routes consiste normalement à enlever les irrégularités de la surface, mais d'autres opérations peuvent être nécessaires à intervalles irréguliers: débroussaillage de l'emprise pour améliorer la visibilité, curage des fossés, traitement antipoussière, réfection de la couche de surface. Dans le nord, il faut parfois aussi déneiger, sabler ou saler les routes verglacées, etc. Le déneigement se fait généralement avec un tracteur routier équipé de chasse-neige et de lames de niveleuse sur les longues distances, ou bien avec une niveleuse automotrice. En foresterie, on emploie le plus souvent cette dernière, plus lente, parce que les essieux plus espacés laissent une surface plus lisse et moins ondulée qui ne ralentit pas les grumiers.

Le coût de l'entretien dépend de nombreux facteurs: normes de construction, poids brut des véhicules, densité et vitesse de circulation, conditions climatiques, etc. Il est donc difficile à estimer. La publication de la FAO "Exploitation et transport des grumes en forêt dense tropicale" donne pour 1972 un coût annuel de 50 à 100 dollars E.-U. le km plus 1 à 2 pour cent des coûts de construction selon le climat et les normes de construction, mais les coûts sont aujourd'hui beaucoup plus élevés. En zone collinaire très accidentée, les coûts annuels d'entretien peuvent approcher de 10 pour cent des coûts de construction tant que la route n'est pas bien stabilisée. En Colombie, pour une route de grande circulation en rondins contigus, l'entretien coûte environ 1 000 dollars E.-U. le km par an, c'est-à-dire 5 pour cent du coût de construction. Il arrive que l'on construise des routes importantes selon des normes assez basses et qu'on les améliore périodiquement en imputant le coût des travaux sur les frais d'entretien, ce qui fausse les données concernant aussi bien les coûts d'entretien que les coûts de construction.

Dans une exploitation forestière, si les routes revêtues de gravier sont soumises à une circulation intense et rapide et si les véhicules retournent à vide, il se forme rapidement des irrégularités de surface ou de la tôle ondulée. Ce phénomène serait dû à l'action des roues non motrices des véhicules à vide qui tournent très vite et qui rebondissent sur la route. Il est possible d'éliminer ces irrégularités à la pelle, à la pioche et au râteau, mais on emploie généralement des tracteurs traînant des objets pesants ou divers types de niveleuses à lame automotrices. On peut aussi employer ces dernières pour reformer la route, enlever les graviers des accotements et des fossés peu profonds et les réétaler sur la route. Ces niveleuses traînent parfois aussi un objet pesant quand elles se déplacent sur la route.

La poussière pose un problème par temps sec sur les routes revêtues de gravier soumises à une circulation intense. On estime que les pertes de matériau peuvent atteindre 300 tonnes par km et par an. Au Canada oriental, on signale une route de transport non traitée et très utilisée où ces pertes seraient comprises entre 100 et 200 m^3/km/an. On emploie de nombreuses substances pour combattre la poussière; la plus commune est le chlorure de calcium appliqué en solution ou en cristaux à raison de 0,25 à 1,5 kg/m^2 selon le type de sol. Les traitements antipoussière améliorent la sécurité et permettent généralement de maintenir des vitesses de croisière plus élevées. En outre, la pollution atmosphérique est réduite; mais le sel fait rouiller rapidement les parties métalliques exposées. L'annexe G récapitule l'expérience de l'industrie papetière du Canada oriental avec le chlorure de calcium employé comme antipoussière pendant les années soixante.

Les frais d'entretien sont généralement beaucoup plus élevés sur les routes principales que sur les routes secondaires; ils peuvent atteindre le double, à l'heure actuelle (1977); l'ensemble de ces coûts, pour toute l'année, si l'on fait une moyenne sur plusieurs années, est probablement de l'ordre de 800 dollars E.-U. le km pour les routes principales et de 400 dollars E.-U. pour les routes secondaires. Le coût de l'entretien des routes d'accès ne doit pas dépasser celui des routes secondaires, à moins qu'elles ne servent aussi de routes de transport. L'entretien des routes d'alimentation n'est guère important.

10. SYSTEMES D'EXPLOITATION

10.1 Considérations générales

La planification d'un système d'exploitation forestière est une entreprise complexe. Il faut prendre en compte de nombreux facteurs: terrain, type de peuplement, climat, plan d'aménagement forestier et plan sylvicole, produits à obtenir, main-d'oeuvre, matériel d'exploitation, mode de mensuration de la production. La plupart de ces facteurs sont déjà connus lorsque l'opération est en cours; mais quand on planifie une nouvelle exploitation, il faut les étudier tous.

10.1.1 Terrain

La topographie et le sol ont une forte influence sur les coûts de construction des routes et sur les méthodes d'extraction du bois. Pour construire des routes sur des pentes abruptes, il faut des déblais profonds qui exposent beaucoup de sol à l'érosion. Les coûts de construction et d'entretien sont plus élevés. En terrain plat, les sous-sols en limon fin ou en argile doivent être stabilisés à cause de la capillarité: les sols organiques doivent être enlevés ou revêtus de rondins contigus et couverts de gravier, lequel doit être transporté jusqu'au chantier au coût de 1,5 à 2 dollars E.-U. le m^3 plus 0,08-0,10 dollar E.-U. le m^3/km.

La raideur des pentes et les accidents de terrain, caractéristiques de traction du sol et du tapis végétal, déterminent la possibilité d'employer des débardeurs, des forwarders et d'autres engins d'exploitation. Normalement, si les conditions de traction sont bonnes, certains débardeurs et forwarders peuvent travailler en descente sur des pentes atteignant 50 et même 60 pour cent dans des conditions exceptionnellement favorables. Ils peuvent monter des pentes atteignant 20 à 25 pour cent, mais en réduisant fortement la charge utile, surtout dans le cas des débardeurs.

TABLEAU 9

DIRECTIVES POUR LE CHOIX DE METHODES DE TRANSPORT HORS ROUTE DANS LES FORETS TEMPEREES

Légende ↑ en montée ↓ en descente xx approprié x possible Pente exprimée en pourcentage. Ne pas tenir compte des pentes de moins de 50 mètres de long

NB Ces directives concernent seulement les aspects techniques. Le choix définitif dépendra aussi de facteurs économiques et de la méthode de coupe.

TERRAIN ET SOL		DEBARDAGE AU SOL							SYSTEMES PAR CABLE		
									Distance <700 m	Distance >700 m	
Inégalités du terrain	Adhérence portance du sol	A BRAS D'HOMME	TRACTION ANIMALE	TRACTEURS AGRICOLES	"Skidder"	"Forwarder"	TRACTEURS A CHENILLES	"Feller-buncher"	Transportables	Avec ou sans pente	Par gravité seulement
PENTES 0 10%											
Terrain plat à inégal	bonne	x) transporter	xx	xx	xx	xx	Marécage, argile humide	xx			Seulement si débardage au sol s'avère impraticable
	mauvaise	x) traîner	x	x	xx	xx		xx	xx	xx	
Terrain très inégal	bonne	x) rouler	x		xx	xx		xx	xx	xx	
	mauvaise	x)	x		xx	x	" x	x	xx	xx	
PENTES 10 - 50%											
Terrain plat à inégal	bonne ↑	<40>40%	x <15%	xx < 15%	xx < 25%	xx < 25%	x < 35%	xx 25%			
	" ↓	x xx gravité	xx <30%	xx < 25%	xx	xx < 45%	Argile humide x < 25%	xx 35%		30 30%	
	mauvaise ↑				x < 20%			x < 20%	xx	xx x	xx > 30%
	" ↓	x x "	x < 30%	x 25%	xx	x 45%	x x	xx 35%	xx	xx x	xx "
Terrain très inégal	bonne ↑				x < 25%	x 25%	x 35%	x 25%	xx	xx x	xx "
	" ↓	x	x < 30%	x < 20%	xx	xx < 45%	Argile humide x	xx 35%	xx	xx x	xx "
	mauvaise ↑				x < 20%		x 25%	x 20%	xx	xx x	xx "
	" ↓				x	x < 45%	x	xx 35%	xx	xx x	xx "
PENTES > 50%											
Terrain plat à inégal	bonne ↑					chenille souple			xx	x	xx
	" ↓	xx gravité			xx < 60%	x 60%	x 60%		xx	x	xx
	mauvaise ↑						Argile humide x < 60%		xx	x	xx
	" ↓	x "				x "			xx	x	xx
Terrain très inégal	bonne ↑								xx	x	xx
	" ↓	x "			xx < 60%	x "	x 60%		xx	x	xx
	mauvaise ↑						Argile humide x 60%		xx	x	xx
	" ↓					x "			xx	x	xx

TERRAIN ET SOL

En règle générale on a utilisé le système international de classification des terrains recommandé par l'IUFRO

i) PENTE. il s'agit des pentes dépassant 50 mètres, ne pas prendre en considération celles de longueur inférieure.

ii) INEGALITES DU TERRAIN il s'agit d'obstacles ou de dépressions de plus de 50 cm. La classification TERRAIN PLAT à INEGAL et TERRAIN TRES INEGAL est conventionnelle, dans le cas d'un terrain TRES INEGAL, la distance moyenne entre les obstacles est inférieure à 3 mètres

iii) ADHERENCE PORTANCE DU SOL est difficile à définir. En règle générale BONNE s'applique aux sols présentant une cohésion suffisante et MAUVAISE aux sols dont la structure présente une faible cohésion Si possible, on établira une classification en se basant sur les résultats obtenus localement avec les tracteurs, et en tenant compte de la quantité et de la distribution des précipitations, de la saison des opérations, de la fréquence des passages, etc.

PEUPLEMENT ET ARBRES

SYSTEMES PAR CABLE: la productivité et la rentabilité de ces systèmes sont plus affectées par un faible volume de coupe à l'hectare et par la présence d'arbres de petites ou de très grandes dimensions que celles des méthodes de débardage au sol. Les coupes d'éclaircie sont impossibles avec le système "high lead" et difficiles avec les autres systèmes par câble.

POINT DE VUE ECONOMIQUE

TRACTEURS ET CABLES: Ces deux méthodes nécessitent le même investissement par unité de production mais les SYSTEMES PAR CABLE requièrent plus de main-d'oeuvre et une main-d'oeuvre plus qualifiée.

MATERIEL

TRACTEURS: N.B: les tracteurs à quatre roues motrices et à chassis non articulé ne sont pas pris en considération ici. Ils se comportent en général moins bien sur le terrain que les "skidders".

i) TRACTEURS AGRICOLES avec treuil et, si nécessaire, avec un dispositif augmentant l'adhérence (chaînes, semi-chenilles). Equipement accessoire: pince de débardage, pelles de traction, remorques, traîneaux, grues selon les cas.

ii) "SKIDDER" tracteur articulé à quatre roues motrices, treuil à un ou deux tambours souvent avec petite lame de bulldozer, et arche intégrée sur laquelle passe le câble

iii) "FORWARDER" tracteur porteur articulé, toutes roues motrices (ou à chenilles souples), avec treuil, bras de chargement et souvent petite lame de bulldozer

iv) "FELLER-BUNCHER" Machine abattant les arbres et les groupant en tas séparés pour le transport

DISPOSITIFS A CABLES

N B les téléphériques utilisés seulement pour le transport d'un point à un autre ne sont pas pris en considération ici

i) SUR COURTE DISTANCE (700m) treuil et mât monté sur tracteur, camion ou remorque travaillant toujours à partir de la route Deux types

a) "HIGH LEAD" treuil à deux tambours, sans câble porteur. Distance maximum 300 mètres Equipement européen pour des charges maximum de 2,5 tonnes. Equipement nord-américain pour des charges beaucoup plus importantes avec tambours auxiliaires pour les haubans Dispositif d'asservissement des tambours entre eux pour le débardage avec grappins

b) CABLE PLONGEUR avec deux tambours au plus, câble porteur, câble de traction, câble de rappel, chariot Distance maximum 700 mètres. Equipement européen pour des charges maximum de 5 tonnes. Possibilité de tirer la charge sans qu'elle touche le sol, mais ce n'est pas aisément réalisable

ii) SUR LONGUE DISTANCE (700 mètres) ce matériel peut théoriquement être utilisé jusqu'à des distances d'environ 2500 mètres, mais en pratique jusqu'à 1500 mètres Obligation de débarder la charge totalement suspendue, ce qui oblige de disposer de supports plus hauts que ceux utilisés pour le débardage sur courte distance. L'installation des câbles, des supports et du système d'ancrage doivent être calculés. Chargement maximum 10 tonnes mais en fait pratiquement limité à 5 tonnes Deux types

a) Câbles plongeurs utilisables sur terrains AVEC OU SANS PENTE: câble porteur, câble sans fin, chariot avec ou sans dispositif de blocage, treuil installé près d'une route, entraînement du câble sur poulie, grumes débardées horizontalement ou verticalement (avec dans ce dernier cas des supports aériens)

b) Câbles plongeurs fonctionnant PAR GRAVITE SEULEMENT: câble porteur, (un) câble de traction, chariot avec ou sans dispositif de blocage, treuil monté sur un traîneau travaillant à partir de la station haute Les grumes transportées verticalement sans toucher le sol nécessitent des supports élevés.

Le tableau 9 indique les méthodes de transport sur courtes distances pouvant être appliquées dans les forêts des zones tempérées sur divers types de terrain. Le tableau vaut sans doute aussi bien pour les forêts tropicales, mais les méthodes indiquées sont moins souvent applicables à cause de l'état du sol et de la dimension des arbres, de la faible densité du peuplement (ou du volume exploité à l'hectare) et de l'épaisseur du sous-bois.

Dans de nombreuses jungles tropicales de plaine où les sols de limon et d'argile prédominent, les arbres exploités sont souvent grands (leur diamètre peut atteindre 150 m) et le volume récolté à l'hectare peut ne pas dépasser 5 à 10 m^3. De plus en plus, le bois est traîné par tracteur jusqu'à la route ou parfois jusqu'à la rivière, sous forme soit de troncs entiers, soit de grumes. Mais les sculptures profondes des pneus tournant lentement dans ces sols à forte capillarité et à faible coefficient de traction pour vaincre la friction et la résistance au roulement creusent des ornières qui peuvent causer des problèmes graves.

Dans de nombreux pays tropicaux, on ne peut employer les tracteurs à pneus que pendant la saison sèche, qui dure de quatre à six mois; même alors, les averses obligent parfois à interrompre les travaux pendant deux ou trois heures ou deux ou trois jours en attendant que le sol sèche. L'eau qui s'accumule dans les ornières ramollit encore le sol, de sorte que l'ornière se creuse à chaque passage du débardeur. Les débardeurs à roues ont une pression au sol de 1,1 à 1,4 kg/cm^2 selon la largeur des pneus.

En revanche, les tracteurs à chenilles standards n'exercent sur le sol qu'une pression de 0,5 à 0,7 kg/cm^2 et sont donc beaucoup plus efficaces en sol limoneux ou argileux. Non seulement ils ont de bien meilleures caractéristiques de traction, mais de plus ils pénètrent beaucoup plus facilement dans la forêt et peuvent donc déblayer les pistes pour atteindre les arbres abattus plus facilement que les tracteurs à pneus, même ceux de 185 ch et peut-être que les nouveaux tracteurs de 300 ch récemment mis sur le marché. Les nouveaux tracteurs à chenilles à faible pression sur le sol, à chenille longue et semelle de chenille large, dont il existe maintenant des modèles petits et moyens, ont une pression au sol d'environ 50 pour cent inférieure à celle des machines classiques. Ils devraient beaucoup faciliter le débardage au sol en terrain tendre.

Le long de certains cours d'eau tropicaux, en terrain relativement plat et régulier, des grumes pouvant atteindre 125 à 150 cm de diamètre, tronçonnées en longueurs de 3 m, sont roulées à la main jusqu'à la berge sur des distances pouvant atteindre 1,5 à 2 km le long de passages ouverts dans la végétation.

Dans une exploitation de Colombie, sur un terrain d'une portance de 0,2 kg/cm^2, la pratique normale est de déplacer des bois courts à la main et par câble jusqu'à la route. Même les plus légères machines à chenilles larges existantes ne peuvent travailler en forêt qu'avec de grandes difficultés, et les pistes principales de débardage doivent être revêtues de rondins contigus.

10.1.2 Caractéristiques de peuplement

Le volume de bois récolté à l'hectare influe sur l'espacement ou la densité optimum des routes d'alimentation; moins il est grand et moins le réseau de routes doit être dense; cette question est étudiée à l'annexe B. Sous les Tropiques, où la forêt est généralement "écrémée", c'est-à-dire que seules quelques-unes des essences les plus précieuses sont exploitées et que les quantités enlevées peuvent ne pas dépasser 5 à 10 m^3/ha, et où la construction de routes coûte cher, il se peut que l'espacement optimal des routes atteigne plusieurs kilomètres.

Dans les forêts des zones tempérées et dans les plantations, quelle que soit leur situation géographique, les peuplements de petits arbres (jusqu'à 20 cm de diamètre à hauteur de poitrine) peuvent être facilement exploités par la "méthode des bois courts". S'il faut déplacer, charger ou décharger les grumes à la main, elles doivent être assez petites et assez courtes pour qu'un ou deux hommes puissent les manier. Le poids maximum dépend de

divers facteurs climatiques et humains: température, altitude, poids corporel, nutrition, etc. Il doit être de l'ordre de 30 à 40 kg par homme. Si les grumes sont chargées et déchargées mécaniquement avec des grappins et des pinces, leur longueur ne doit pas être inférieure à 2,50 m.

Quand les arbres sont plus gros, il vaut mieux employer un débardeur pour les traîner jusqu'à la route, si la topographie et l'état du sol le permettent. Les branches et cimes peuvent être coupées à la souche ou en bord de route, à la hache ou à la scie à chaîne, avec des ébrancheuses ou des ébrancheuses-tronçonneuses mécaniques, ou bien même avec les nouvelles ébrancheuses à chaîne traitant plusieurs arbres en même temps.

10.1.3 Conditions climatiques

Si la température et le degré hydrométrique sont élevés, comme c'est le cas dans les pays tropicaux en certaines saisons, l'aptitude des ouvriers forestiers à fournir un effort physique régulier en souffre beaucoup. Le tableau 10 indique la réduction de productivité à laquelle il faut s'attendre et le ralentissement du travail à prévoir dans ces conditions. On a pris pour base une température de 26ºC et une humidité relative de 90 pour cent.

TABLEAU 10

BAISSE DE PRODUCTIVITE ET TEMPS SUPPLEMENTAIRE A PREVOIR POUR LES TRAVAUX FORESTIERS PENIBLES EN PAYS TROPICAL A CAUSE DE LA CONTRAINTE THERMIQUE

Température en degrés Celsius	Humidité relative	Augmentation de la durée des tâches 1/	Réduction de productivité 2/
26	90 %	0 %	0 %
28	90 %	10 %	10 %
29,5	90 %	25 %	20 %
31,5	90 %	55 %	35 %
33,5	90 %	185 %	65 %
33	70 %	45 %	30 %
35	70 %	100 %	50 %
37	70 %	550 %	85 %

1/ Ce temps s'ajoute aux périodes de repos normalement accordées lorsque la température est de 26ºC et l'humidité relative de 90 pour cent.
2/ La productivité varie en raison inverse du temps nécessaire pour accomplir la tâche.

Le tableau indique que la fréquence et la durée des repos augmentent rapidement à mesure que la température et le degré hygrométrique s'élèvent; il faut donc éviter les tâches pénibles aux heures chaudes.

En revanche, dans le cas des conducteurs assis dans une cabine confortable et climatisée, il n'y a pas de baisse de productivité pendant les heures chaudes. C'est là une excellente raison de mécaniser certaines des opérations d'exploitation.

Selon des tests faits sur des ouvriers forestiers travaillant aux pièces dans des opérations d'abattage et de débardage au Canada oriental, c'est-à-dire accomplissant des tâches physiques dures, le temps normal de repos représente 10 pour cent de la journée de travail pour une température moyenne de -12ºC, mais cette proportion augmente pendant l'été et diminue pendant l'hiver, comme il est indiqué au tableau 11.

TABLEAU 11 1/

TEMPS DE REPOS TOTAL MOYEN PENDANT LA JOURNEE DE TRAVAIL
DANS LES FORETS DES PAYS TEMPERES POUR DES TACHES PENIBLES

Température moyenne de la journée de travail en °C	Temps de repos moyen total en pourcentage de la journée de travail
- 40°	5 %
- 30°	7 %
- 20°	8 %
- 10°	10 %
0	12 %
+ 10°	14 %
+ 20°	16 %
+ 30°	18 %

1/ D'après des études faites au Canada oriental (19).

Un homme à pied ne travaille pas à son aise en forêt quand il pleut. La production est ralentie et même arrêtée. En pays tropical, où la saison des pluies est très marquée et où il y a d'abondantes précipitations même pendant le reste de l'année, cela pose un problème sérieux. Les heures de fonctionnement des machines diminuent, les coûts d'amortissement et d'intérêt montent, les frais généraux également, et tout cela accroît d'autant le prix du bois récolté.

Dans les zones tempérées, il arrive aussi que la neige interrompe les opérations d'exploitation; mais si cela pose des problèmes dans l'immédiat, ceux-ci sont en général plus que compensés par les avantages à long terme.

La capacité physique diminue en altitude, à cause du manque d'oxygène. Cet effet est perceptible à 1 200 m d'altitude, atteint 15 pour cent à 2 300 m et environ 30 pour cent à 4 000 m. La nature a doté beaucoup de peuples montagnards d'une capacité pulmonaire plus élevée, d'un plus grand volume de sang et d'un plus fort pourcentage de globules rouges que les habitants des plaines. Ces derniers peuvent, certes, s'acclimater aux travaux d'altitude, mais ils ne s'adaptent jamais aussi bien que les montagnards.

10.1.4 Aménagement et sylviculture

Le plan d'aménagement forestier limite parfois le type d'exploitation et peut prescrire une coupe sélective suivie de régénération naturelle, ou une coupe rase suivie de reboisement artificiel, par exemple dans le cas des plantations de pins arrivés à maturité. En forêt tropicale, l'exploitation sélective est de norme, surtout en raison du grand nombre d'essences pour lesquelles on n'a pas encore trouvé d'utilisation commerciale. Ce type d'exploitation provoque une dégradation continue de la forêt, les essences précieuses enlevées étant rarement remplacées par des plants d'essences également recherchées. Les forêts tropicales exploitées pour le bois à pâte sont généralement coupées à blanc, sauf parfois quelques arbres d'essences riches en silice ou en latex; après l'exploitation on plante des essences convenant mieux à la papeterie, en particulier des eucalyptus, des cyprès ou des pins.

Les règlements forestiers contiennent parfois des clauses restrictives pour éviter l'érosion sur certains sols, et peuvent limiter ou même interdire le débardage au sol en pente forte.

Des règlements prescrivent parfois d'éliminer les broussailles, cimes et autres débris d'exploitation. Dans certains systèmes d'exploitation, les arbres entiers sont parfois amenés en bordure de route, ou même au parc à bois, mais certains sylviculteurs soutiennent qu'il vaut mieux les laisser en forêt à cause des éléments nutritifs qu'ils contiennent.

Dans certains plans d'aménagement, on coupe à blanc des bandes ou des blocs non seulement pour éviter la propagation des incendies, mais aussi pour que les zones coupées soient repeuplées par les semis naturels provenant des peuplements restés sur pied; certains plans exigent de laisser des semenciers en place et de faire des plantations artificielles lorsque la régénération naturelle n'est pas suffisante.

10.1.5 Longueur et type des grumes

Le choix de la méthode d'exploitation dépend parfois de la longueur ou du type de grumes demandées à l'usine ou au parc à bois. Parfois, on préfère de beaucoup une longueur uniforme standard, non seulement à cause des exigences des usines, mais aussi parce que cela permet de rationaliser le transport à grande distance ou bien que c'est une condition indispensable pour certaines machines très productives.

S'il y a une manutention à la main, il faut des grumes courtes. Le tronçonnage à la main au voisinage de la souche demande plus de main-d'oeuvre que tout autre système, et c'est une méthode d'exploitation simple qui permet une manutention "en tas" entre la souche et le dépôt final. Cette méthode convient aux régions où il y a beaucoup de chômage et où les salaires sont bas; elle s'adapte facilement à la rémunération aux pièces, mais c'est un travail dur, pour lequel les ouvriers doivent être bien nourris (4 000 calories par jour, au moins).

S'il faut livrer le bois à la fabrique sous forme de copeaux, on peut envisager de déchiqueter le tronc ou même l'arbre tout entier en bord de route.

10.1.6 Main-d'oeuvre

Quand on planifie un système d'exploitation, un des principaux facteurs à prendre en considération est celui de la main-d'oeuvre: disponibilité, expérience, aptitudes, attitude à l'égard du travail, formation, poids corporel, état sanitaire et nutritionnel, journée de travail, salaire, bénéfices marginaux, motivations, etc.

Il faut à peu près deux ans pour qu'un ouvrier n'ayant aucune formation ni expérience forestières,et qui n'a donc pas l'habitude des outils ni du matériel courant, atteigne sa pleine productivité. L'absentéisme, le renouvellement du personnel, l'intensité de la formation et le contrôle dans le chantier ont une importance décisive. La productivité des ouvriers doit pouvoir augmenter de 50 pour cent pendant la deuxième année. Au Canada oriental, il faut 1 000 heures pour qu'un opérateur de forwarder atteigne sa productivité maximum dans la manipulation du chargeur à flèche articulé.

La capacité des ouvriers à fournir un travail physique dur dépend notamment de leur poids corporel. La plupart des calculs de productivité et de temps dans les exploitations forestières sont basés sur des observations faites dans des pays où l'industrie de l'exploitation forestière est très développée et où les ouvriers forestiers pèsent en moyenne environ 70 kg. Dans des régions où le poids moyen est moins élevé, il faut prévoir pour la même tâche un temps plus long, calculé en appliquant le coefficient ci-dessous:

$$\frac{70}{\text{poids corporel moyen exprimé en kg}}$$

Cela ne s'applique pas aux conducteurs des machines.

La léthargie que l'on reproche si souvent aux ouvriers des pays chauds est souvent attribuée à la paresse, alors qu'elle est sans doute due essentiellement à une nourriture malsaine ou insuffisante. Pour avoir un bon rendement, les ouvriers affectés à des travaux de force en forêt ont besoin d'au moins 4 000 kcal par jour. Une mauvaise nutrition est parfois une des causes de l'absentéisme et du renouvellement trop rapide de la main-d'oeuvre. Quand on pense que la malnutrition est un des éléments en jeu, il faut envisager des moyens d'améliorer d'une façon ou d'une autre l'alimentation des ouvriers.

Il faut aussi prendre en compte la situation géographique des travailleurs par rapport au chantier. Les bûcherons proviennent traditionnellement des campagnes et connaissent la forêt, acceptent de vivre dans un camp forestier et ont une certaine habitude tout au moins des outils manuels. Mais l'exode rural a tout changé. Les sentiments des ouvriers à l'égard de leur famille et de leur village influent sur le taux d'absentéisme. Dans les pays développés, la rotation de la main-d'oeuvre et, dans une large mesure, l'absentéisme, se sont stabilisés partout où il a été possible d'installer des camps de jour permettant aux ouvriers de vivre chez eux tout en se rendant chaque jour au chantier en voiture ou en autobus. La distance ainsi parcourue peut atteindre 50 km par trajet si les routes sont assez bonnes. Dans les pays chauds, il est parfois possible d'installer des villages forestiers près du chantier pour un coût raisonnable; cela servirait aussi de base pour améliorer la nutrition, la santé et le bien-être général et pour réduire l'absentéisme et l'instabilité de la main-d'oeuvre.

Les salaires et le coût des avantages marginaux doivent être pris en compte. Au Canada, les avantages marginaux représentent au moins 30 pour cent des traitements directs dans les grandes entreprises forestières; dans les pays en développement, cette proportion peut atteindre et même dépasser 100 pour cent.

Il faut étudier la meilleure façon de motiver les ouvriers et d'accroître la productivité. Dans les pays développés, on a procédé de diverses façons. La plus courante et la plus efficace est le stimulant financier: rémunération aux pièces ou rémunération à la journée ou à la semaine pour une production déterminée, avec prime si ce niveau de production est dépassé. Mais ces expédients ne doivent ni réduire ni accroître le coût unitaire du bois; il s'agit surtout d'augmenter la production par homme/jour afin de réduire l'incidence des avantages marginaux et des autres coûts indirects.

Le niveau des salaires a une influence considérable sur le choix du système d'exploitation. Les systèmes à fort coefficient de main-d'oeuvre, tels que la méthode des bois courts pour les grumes petites et moyennes, surtout là où les salaires sont bas et où le travail aux pièces est accepté, offrent beaucoup de possibilités. Selon certains experts, même dans les pays où les salaires sont élevés, cette méthode, qui consiste à tronçonner le bois à la souche en grumes de la longueur exigée par l'usine et à le manutentionner "en tas" à partir de là avec des forwarders, est la méthode la plus économique. Ainsi, en Suède, de 85 à 90 pour cent de la production de bois est traitée de la sorte. Dans certains pays, il est difficile de trouver des bûcherons qui acceptent de travailler au milieu des broussailles et des débris qui jonchent le sol forestier et d'accomplir l'effort physique très dur nécessaire pour abattre, ébrancher, tronçonner les arbres, grouper les grumes et les mettre en tas.

10.1.7 Matériel mécanique

Quand on envisage une exploitation mécanisée, les facteurs à considérer sont la simplicité de la machine, le service après-vente assuré par le distributeur, la disponibilité des pièces de rechange et l'adaptation de la machine au terrain à exploiter. Même dans le cas d'une machine ayant une vitesse de fonctionnement tout à fait satisfaisante, si on n'est pas assuré de la maintenir en état de marche au moins 70 pour cent du temps ouvrable, il ne faut pas l'acheter. Cela ne tient pas toujours à un défaut de la machine. Il arrive par exemple que des machines restent inemployées pendant six mois à cause de restrictions aux importations et de formalités officielles. L'une des machines d'exploitation les plus complexes actuellement utilisées pour des opérations avec plusieurs postes par jour est utilisable 80 pour cent du temps.

Certaines machines actionnées par un seul homme et équipées de cabine chauffée et climatisée peuvent être utilisées par deux postes par jour toute l'année sans que leur production diminue de nuit. Aussi bien les abatteuses-groupeuses que les forwarders, qui tous deux travaillent directement sur le sol de la forêt, sont de cette catégorie. Les forwarders mécaniques, qui chargent directement le camion ou la remorque en bord de route, permettent d'éviter une opération supplémentaire de chargement indispensable avec les débardeurs ou d'autres engins. On dit d'habitude que chaque fois que le bois est posé pour être repris ensuite, son prix de revient augmente de 0,50 à 0,60 dollar E.-U. le m^3.

Dans certains pays tropicaux, on considère que la vie normale d'une machine est de quatre à six ans, bien qu'elle ne soit utilisée que peu d'heures par an. Soit une machine coûtant 100 000 dollars E.-U.: durée de vie normale, 10 000 heures; taux d'intérêt,10 pour cent. Si elle n'est utilisée que 1 000 heures par an pendant 5 ans dans une région tropicale, alors qu'ailleurs elle est utilisée 2 000 heures par an, les coûts d'amortissement et d'intérêt doublent:

Nombre d'heures d'utilisation par an	2 000	1 000
Coût par heure de machine:		
amortissement	10 $ E.-U.	20 $ E.-U.
intérêt	3	6
Total	13 $ E.-U.	26 $ E.-U.

Dans ces conditions, il faut songer sérieusement aux méthodes manuelles, surtout là où les salaires sont bas.

10.1.8 Mesurage de la production

La façon dont on mesure la production de bois peut se refléter sur le coût de l'exploitation, et il faut en tenir compte. Les grumes sont généralement mesurées ou pesées pour une ou plusieurs des raisons suivantes:

a) pour payer les travailleurs aux pièces et/ou les sous-traitants;

b) pour payer les taxes;

c) pour contrôler la production.

La production peut être mesurée en comptant ou pesant chaque grume, par pesage et prélèvement d'échantillon, par mesurage en stère, etc. Le mesurage peut se faire près de la souche, en bord de route ou au parc à bois.

Une exploitation forestière doit être considérée comme un processus continu. Toute interruption du débit accroît généralement le coût du produit. Si une interruption est nécessaire rien que pour pouvoir mesurer le bois, c'est là une dépense improductive. Il faut donc mettre au point des méthodes de mesure économiques, en accord avec les autorités compétentes, de façon à satisfaire tous les intéressés. La question est étudiée de façon exhaustive dans la publication de la FAO: "Harvesting Man-Made Forests in Developing Countries" (2).

10.2 Classification des systèmes de récolte

Il y a plusieurs classifications des systèmes de récolte. On peut les classer d'après l'état de l'arbre ou la longueur de la grume au cours du transport depuis la souche jusqu'au bord de la route:

a) récolte d'arbres entiers abattus et transportés tels quels jusqu'à la bordure de la route;

b) récolte de fûts entiers;

c) récolte de bois courts: les arbres sont ébranchés, étêtés et tronçonnés en deux ou plusieurs grumes sur le parterre de coupe.

On peut également classer les systèmes de récolte d'après les méthodes de transport du bois jusqu'à la bordure de la route.

a) traînage par animaux ou machines;

b) portage par traînaux ou débardeurs à roues à traction humaine, animale ou mécanique, ou bien portage par engin motorisé autochargeur (forwarder);

c) câblage par une ou plusieurs méthodes de téléphérage.

A partir du chantier secondaire en bordure de route, le bois est généralement transporté par camion ou train entier à un chantier final situé à l'usine ou bien le long d'une rivière ou d'une voie ferrée.

La figure 5 illustre schématiquement les divers systèmes de récolte actuellement utilisés dans diverses parties du monde.

On peut utiliser plusieurs instruments ou machines pour exécuter chaque phase ou partie d'un système ou d'une opération de récolte. Pour l'abattage, on peut utiliser la hache, la scie à main, les passe-partout, la scie mécanique ou divers types de machine mobile; pour le traînage, on peut recourir aux animaux, aux débardeurs à élingues, aux débardeurs à grappin, aux débardeurs à pinces, aux abatteuses-débardeuses, etc. De même, pour l'ébranchage, on emploie la hache, la scie mécanique ou une ébrancheuse mécanique à couteau ou à fléau. La principale tâche du chef d'exploitation consiste à choisir les machines et les méthodes qui conviendront le mieux aux conditions de travail précédemment décrites dans ce chapitre et à intégrer les éléments main-d'oeuvre et machines dans un ensemble dynamique et rentable. Chaque sous-opération est généralement influencée par la précédente et, à son tour, influe sur celle qui la suit. Le passage doit se faire régulièrement de l'une à l'autre.

Il est virtuellement impossible de préciser la productivité et les coûts effectifs ou d'évaluer le potentiel de chaque combinaison imaginable de travail humain et de travail mécanique. Dans un manuel concis, on doit se borner à fournir sur chaque machine ou sur chaque phase opérationnelle des données qui permettront de les intégrer dans l'ensemble et de chiffrer par estimation le prix de revient du bois dans le système considéré. Par exemple, étant donné que l'abatteuse-groupeuse peut être utilisée dans les trois principaux systèmes de récolte, on présentera sous une seule rubrique les données concernant sa productivité et son prix de revient.

Le présent manuel traite de la plupart des méthodes et systèmes représentés dans la figure 5. Cependant, il n'englobe pas les transports par câble et les transports à longue distance au-delà du chantier final tel qu'il a été défini précédemment. Le flottage, le transport par barge et le transport ferroviaire sortent du cadre de l'ouvrage.

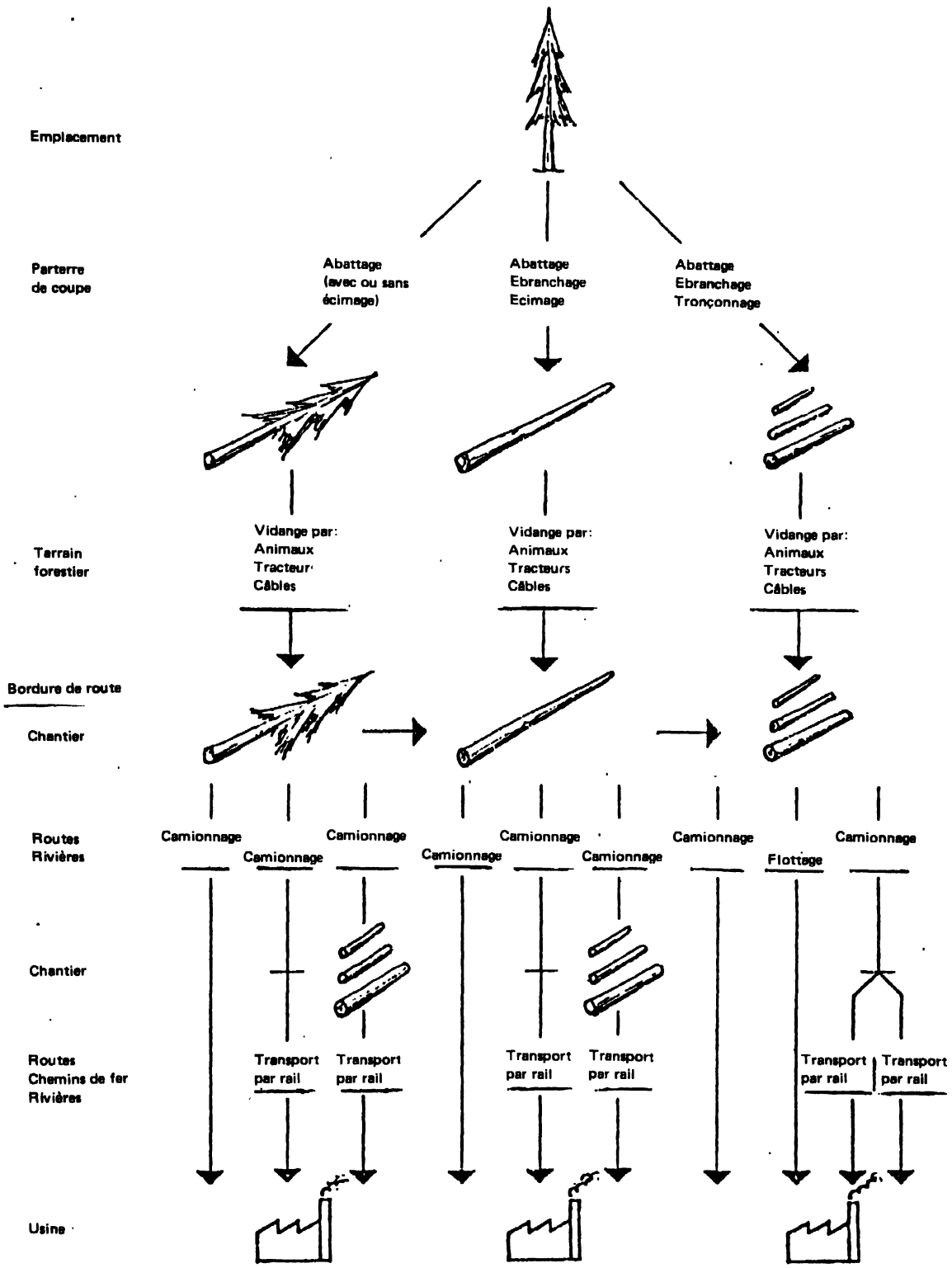


Figure 5 - Principaux systèmes d'exploitation forestière

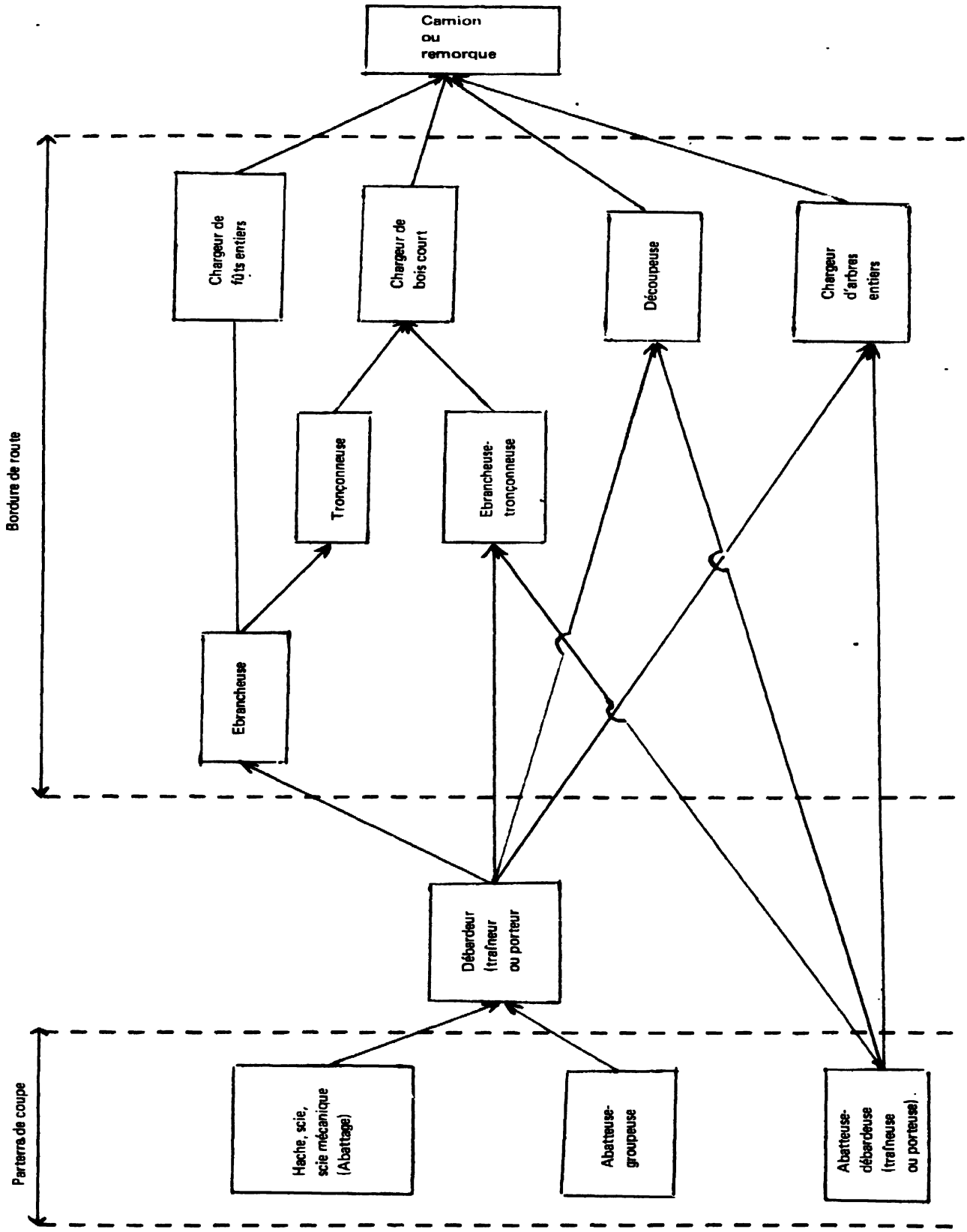


Schéma des opérations de récolte d'arbres entiers

10.2.1 Récolte d'arbres entiers

Il s'agit d'amener des arbres entiers en bordure de route. Ce système est de plus en plus employé dans les pays développés parce qu'il permet au total un rendement élevé par homme et par jour et parce que l'on désire réduire au minimum le travail manuel sur des sites difficiles tels que les parcours de coupe.

Les arbres peuvent être abattus à la main ou par des procédés mécaniques, traînés ou portés jusqu'au bord de la route, réduits à ce stade en tiges toute longueur ou en bois courts ou encore être transportés intacts à l'usine. L'abattage manuel passe pour être moins coûteux et préférable à l'abattage mécanique, à moins que l'on ne veuille grouper les arbres pour faciliter les opérations suivantes. Si l'on recourt à l'abattage mécanique par coupeuse-groupeuse ou par coupeuse-débardeuse, on emmagasine les arbres sur la machine en attendant de les amener à la route après récolte d'une charge complète. Les variantes du procédé récolte par arbres entiers sont indiquées dans la figure 6.

Dans plusieurs parties de l'Amérique du Nord, les feuillus de peuplements mixtes sont abattus entiers, groupés, halés jusqu'au bord de la route par des débardeurs à grappin et réduits en plaquettes à ce stade dans des unités mobiles. Les plaquettes sont "soufflées" ensuite dans des camions couverts et amenées directement aux usines de trituration. Dans le sud des Etats-Unis, on applique parfois ce système aux peuplements de résineux: les usines à pâte traitent alors jusqu'à 20 pour cent de plaquettes d'arbres entiers en mélange avec des plaquettes de bois écorcé. Au stade actuel des techniques industrielles, la possibilité de généraliser ce système dans l'exploitation des forêts de résineux dépend peut-être de la mise au point d'une méthode efficace de séparation de l'écorce et des plaquettes.

La récolte d'arbres entiers présente les avantages ci-après:

a) l'évacuation du bois de branches et de cime diminue les risques d'incendie et, en dégageant le parterre, facilite les replantations;

b) en groupant plusieurs opérations autour d'un point central, on peut manier des cubages importants, ce qui est particulièrement intéressant quand les arbres sont de petite dimension;

c) on peut amener les branches et les cimes à l'usine pour servir de bois de feu ou de construction.

En regard, il y a plusieurs inconvénients:

a) l'accumulation de branches, etc. en bordure de route risque d'encombrer la zone d'exploitation;

b) le transport des branches, etc. jusqu'à la route prive la forêt de semences et de nutriments;

c) étant donné que le bois de branches et de cime représente de 30 à 40 pour cent du poids d'un résineux entier, la réduction de la charge de débardage a une influence négative sur l'espacement optimal des routes d'alimentation et augmente les coûts routiers.

10.2.2 Récolte de fûts entiers

Dans ce système, on transporte jusqu'à la route des fûts ébranchés et étêtés, c'est-à-dire seulement la partie marchande de l'arbre. On peut soit abattre les arbres par l'un des procédés indiqués dans la section relative à la récolte d'arbres entiers et les ébrancher sur le parterre de coupe par des techniques manuelles ou avec des ébrancheuses mécaniques, soit les abattre et les ébrancher à l'aide d'une machine combinée amenée sur le parterre de coupe. Après avoir traîné ou porté les fûts jusqu'à la route, on peut les débiter en bois courts dans une tronçonneuse mobile ou les charger entiers sur des semi-remorques. Les variantes du système sont représentées dans la figure 7.

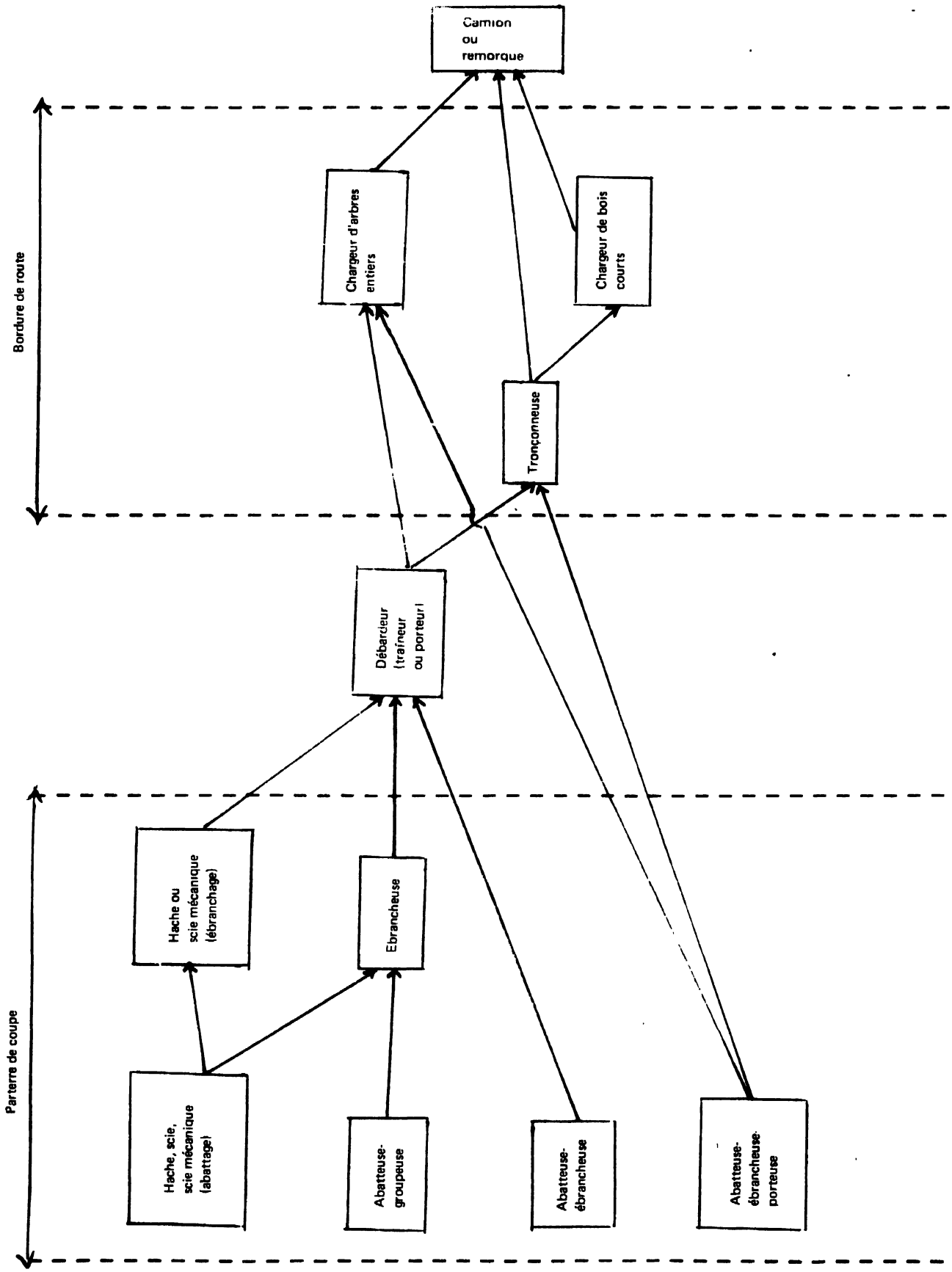


Figure 7 - Schéma des opérations de récolte de fûts entiers

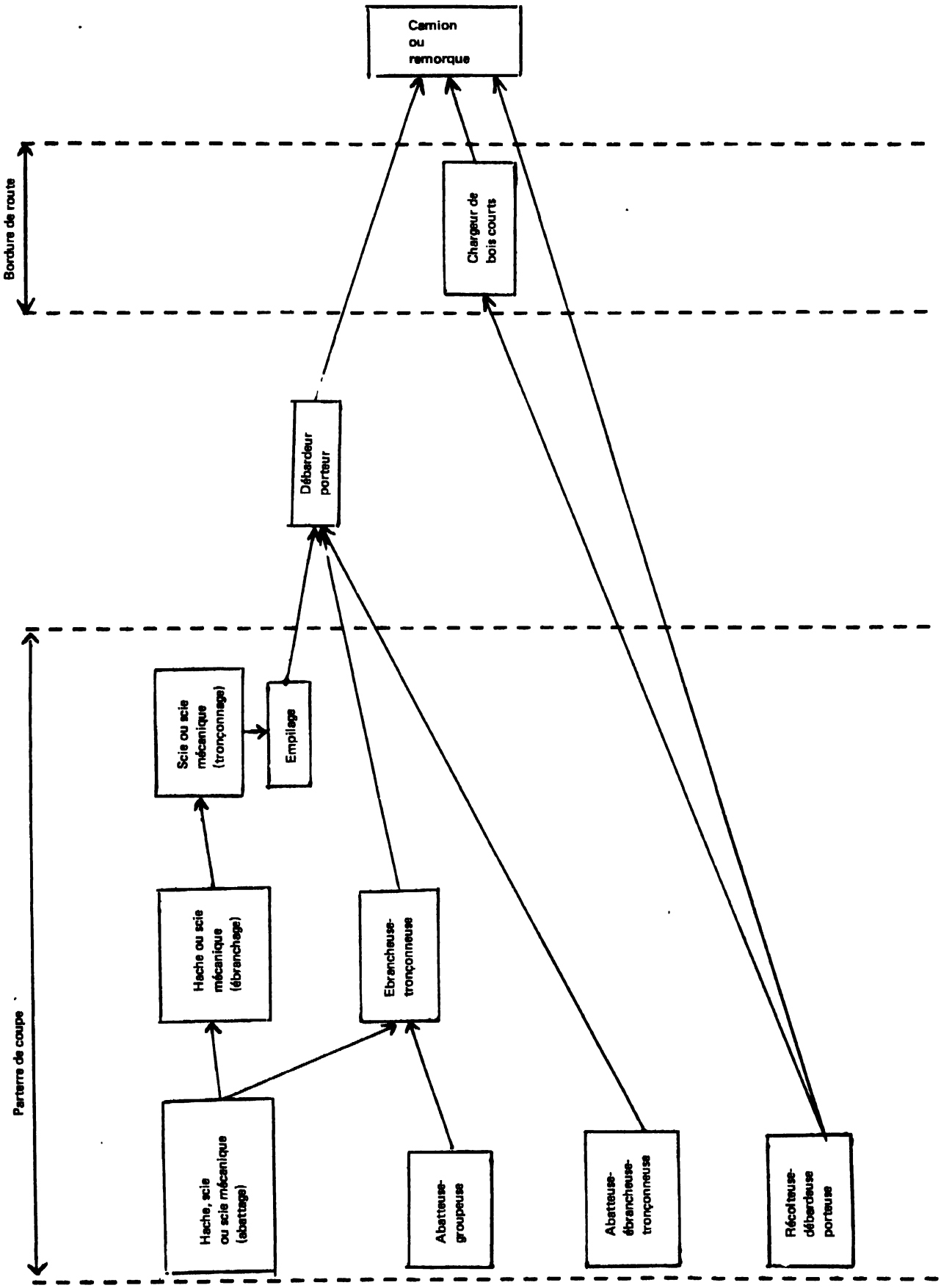


Figure 8 - Schéma des opérations de récolte de bois courts

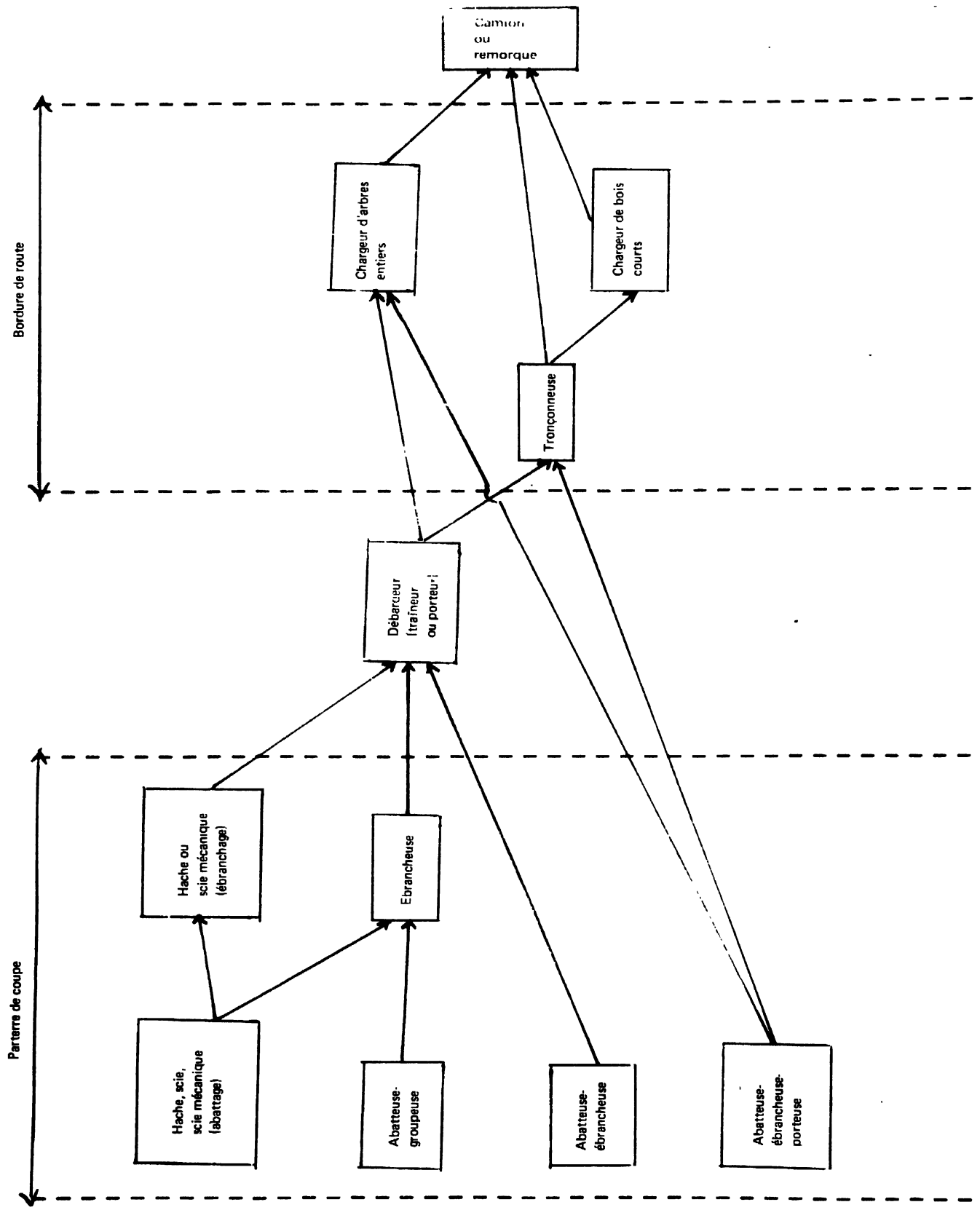


Figure 7 - Schéma des opérations de récolte de fûts entiers.

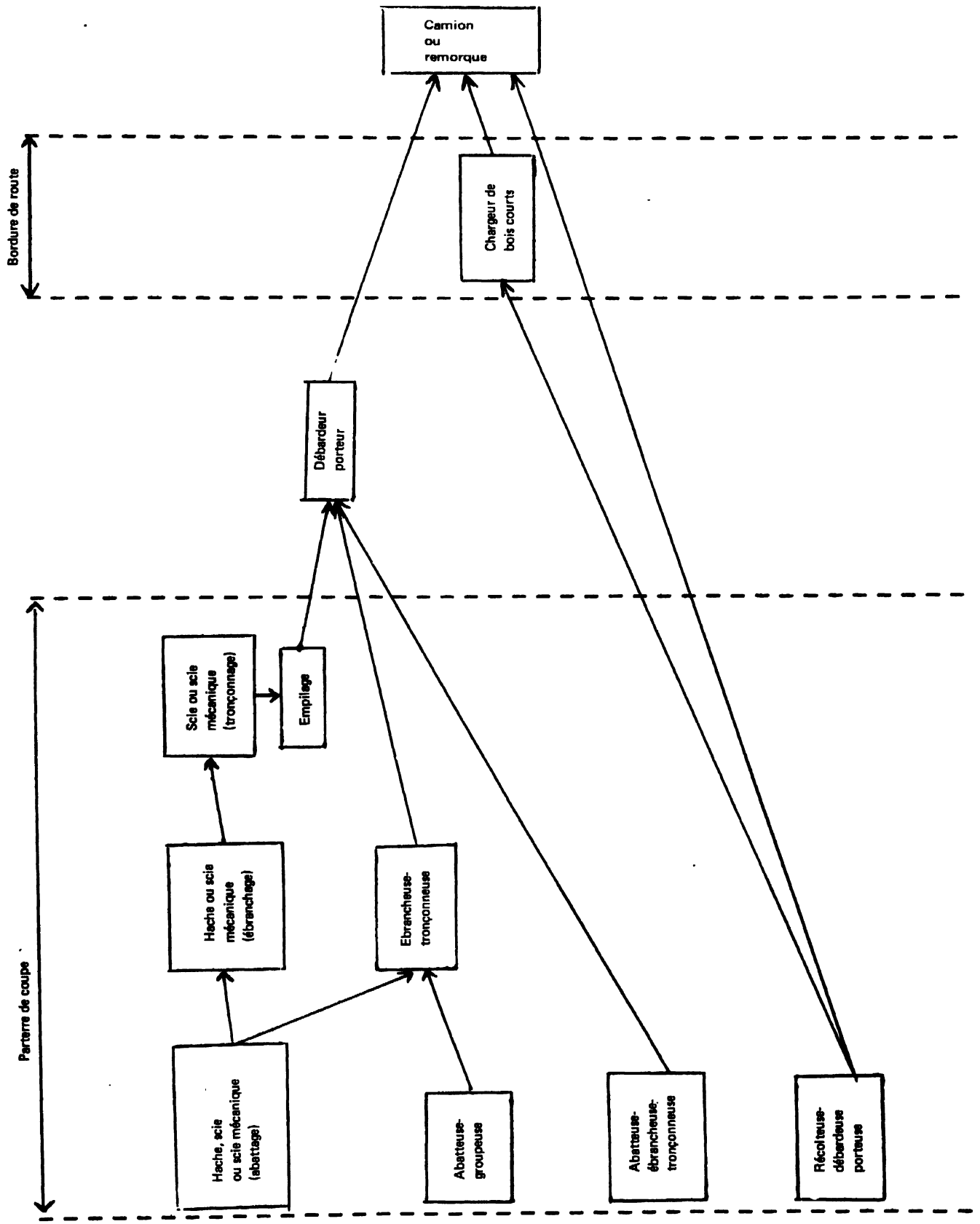


Figure 8 - Schéma des opérations de récolte de bois courts

Ce système est applicable partout où les distances de débardage ne sont pas excessives. Il convient particulièrement aux forêts de résineux des pays tempérés et tropicaux. Dans les plantations, on peut l'appliquer lors des opérations d'éclaircie (avec certaines précautions) et dans les coupes finales. En forêt dense tropicale, c'est la méthode de récolte la plus habituelle, sauf quand les appareils de débardage sont incapables de haler des fûts entiers.

Dans certaines parties montagneuses de l'Europe, sur des pentes trop raides pour les machines, on fait parfois glisser les fûts entiers la tête la première jusqu'au bord de la route où ils seront tronçonnés.

Ce système offre certains avantages:

a) pas d'accumulation de branches et de débris en bordure de route;

b) pas de perte de nutriments pour le sol forestier;

c) productivité par homme et par jour plus élevée et choix de produits finals plus large que si on récolte des bois courts;

d) écartement plus grand des routes d'alimentation et, par conséquent coûts routiers plus faibles par m^3 que si l'on récolte des arbres entiers.

10.2.3 Récolte de bois courts

Dans ce système, l'arbre est réduit sur le parterre de coupe à l'état dans lequel il parviendra à l'usine. Le bois tronçonné est porté (ou traîné) jusqu'en bordure de route, où il est chargé sur camion ou remorque. Ceci est illustré à la figure 8 avec toutes les modifications possibles.

Ce système de récolte, pratiqué depuis des générations, est encore largement utilisé. Par exemple, 85 à 90 pour cent des opérations sont effectuées de cette manière en Suède. Une grande partie du bois est encore produit ainsi dans la partie orientale du Canada (environ 40 pour cent dans la province de Québec), notamment dans le cadre de petites opérations ou sur terrains difficiles et, à défaut de la hache, qui est rarement utilisée aujourd'hui, les petites scies mécaniques sont très employées dans ce système pour l'abattage, l'ébranchage, l'étêtage et le tronçonnage. Le travail comporte une grosse part de main-d'oeuvre si l'on n'utilise pas de machine combinée.

Dans certaines forêts tropicales, on utilise encore pour l'abattage la hache ou le passe-partout, soit parce que les arbres sont trop gros pour les scies mécaniques portatives, soit parce que les ouvriers ne savent pas se servir de celles-ci, soit parce que la réparation des scies mécaniques peut difficilement être assurée dans des zones d'exploitation excentriques. Il faut deux jours et demi pour abattre à la hache un arbre de 150 cm de diamètre et 3 heures et demie seulement avec un passe-partout de 275 cm. Cependant, même dans le cas des très gros arbres, on se sert parfois encore de la hache pour certaines opérations.

Sous sa forme traditionnelle, ce système offre l'avantage de la simplicité et d'une faible mise de fonds. Le principal inconvénient est l'importance du travail manuel nécessaire pour la production de bois courts. Dans sa version modernisée - production à l'aide de récolteuses de bois courts - il n'exige que peu de main d'oeuvre mais réclame des investissements considérables.

11. FACTEURS D'AJUSTEMENT DU TEMPS DE TRAVAIL

11.1 Travailleurs manuels

Là où les travaux forestiers demandent une grande dépense physique, il peut être nécessaire de procéder à certains ajustements des temps de travail, pour tenir compte des différences entre les conditions locales et celles de la région où l'on a établi les données de base. Cette remarque s'applique particulièrement aux pays tropicaux, mais certains

ajustements sont à prévoir dans tous les pays. Les facteurs d'ajustement, par rapport aux temps productifs de base par mètre cube fixés dans les barèmes d'abattage, d'ébranchage, de tronçonnage et d'empilage sont les suivants: correction générale pour tenir compte des temps de repos; pente, densité du sous-bois, profondeur d'enneigement; température, humidité, altitude; poids corporel et état sanitaire du travailleur; niveau nutritionnel dans la région.

Les pourcentages d'ajustement recommandés sont indiqués ci-après:

a) correction générale: + 10 pour cent du temps productif de base pour tenir compte des temps de repos normaux;

b) déclivité, accidents de terrain, densité du sous-bois, enneigement: + 10 pour cent du temps productif de base + 2 pour cent du temps productif de base pour chaque augmentation de 0,5 pour cent du "quotient de déplacement" qui est le rapport entre le temps que l'on met, en fournissant le même effort physique, pour faire à pied, dans les deux sens, le tour d'un carré représentatif de 25 m de côté dans la zone d'exploitation et pour parcourir à pied 200 m sur une route plate (20);

c) altitude: + 10 pour cent par 1 000 m d'altitude supplémentaires au-delà de 1 000 m;

d) poids corporel (quand le poids moyen est inférieur à 70 kg): le facteur est égal à

$$+ \left(\frac{70}{\text{poids moyen en kg}} - 1 \right) ;$$

e) état sanitaire général et niveau nutritionnel dans la région: facteur subjectif fondé sur l'observation et l'étude;

f) température ambiante et humidité relative: appliquer les pourcentages du tableau 12 aux temps productifs de base par unité de production.

On remarquera qu'une correction de temps de + 50 pour cent, par exemple, ne réduit que de 33 pour cent la production par unité de temps.

TABLEAU 12

POURCENTAGES DE CORRECTION DES TEMPS POUR TENIR COMPTE DE LA TEMPERATURE AMBIANTE ET DE L'HUMIDITE RELATIVE (1)

Température moyenne de la journée de travail en degrés C	Humidité relative			
	<70%	70%	80%	90%
+ 35°	+ 50%	+ 100%	+ 200%	+ 300%
+ 34°	+ 30%	+ 70%	+ 120%	+ 200%
+ 33°	+ 20%	+ 45%	+ 75%	+ 125%
+ 32°	+ 15%	+ 30%	+ 50%	+ 75%
+ 31°	+ 10%	+ 20%	+ 30%	+ 50%
+ 30°	+ 8%	+ 10%	+ 20%	+ 30%
+ 20°	+ 6%	+ 8%	+ 10%	+ 15%
0°	+ 2%			
- 10°	0%	Ne pas tenir compte de l'humidité relative		
- 20°	- 2%			
- 30°	- 3%			
- 40°	- 5%			

Note (1) Les valeurs intermédiaires se calculent par interpolation

11.2.5 Habileté et motivation de l'ouvrier

La motivation des travailleurs joue un rôle important dans l'exploitation forestière mécanisée. Dans l'est du Canada, les travailleurs forestiers manuels travaillant aux pièces ont une productivité supérieure d'environ 40 pour cent à celle des ouvriers payés à la journée. Les résultats doivent être probablement du même ordre ailleurs. Dans le cas des conducteurs de machine, l'écart est beaucoup moindre, car c'est la machine qui tend à rythmer le travail de l'homme. En outre, le type de machine a son importance, ainsi que le degré d'automatisation.

La plupart des données détaillées dont on se sert pour estimer la production des machines d'exploitation forestière ont été obtenues en calculant le temps de chaque phase d'une opération répétitive, par exemple en décomposant la manoeuvre d'une flèche d'abatteuse-groupeuse en quatre sous-opérations: pivotage à vide, positionnement et cisaillage, pivotement en charge et redescente de la flèche. L'expérience montre que ces minutages incitent le conducteur à accélérer les manoeuvres. Dans la pratique, cependant, la plupart des machinistes travaillent au temps, sans surveillance étroite et sans motivation particulière.

Certains ouvriers, faute de dons naturels, n'arrivent jamais à la parfaite efficacité. Si on les emploie pour de longues périodes, il faut ajuster les temps de production en conséquence. Comme il est difficile de distinguer l'effet des motivations et celui de l'habileté naturelle, on conseille d'appliquer au temps productif de base par arbre ou par mètre cube un coefficient de correction unique représentant les deux facteurs à la fois. Compte tenu de la courbe d'apprentissage (11.2.3), on réduira le coefficient après quatre mois de travail. Il pourrait être de + 25 pour cent ou davantage dans certains cas.

Pour illustrer l'effet de la motivation, on peut citer le cas des débardeurs à grappin de type nord-américain qui, lorsqu'ils sont conduits par leurs propriétaires travaillant à la pièce, ont un rendement plus de deux fois supérieur, en volume de fûts ou d'arbres transportés entiers, à celui des engins de même type manoeuvrés par des ouvriers travaillant au temps.

12. FORMULES D'ESTIMATION DES COUTS

Pour le calcul du prix de revient (i) des machines mobiles qui travaillent en forêt, sur le parterre de coupe ou en bordure de route et (ii) des systèmes de transport à courte distance (par machine plutôt que par procédé manuel ou par traction animale), on utilisera un certain nombre de formules dans le présent manuel. Bien qu'elles ne permettent pas d'aboutir à des chiffres précis dans toutes les circonstances, on les considère comme suffisamment précises pour les fins que l'on se propose.

12.1 Coût de fonctionnement des machines: formule abrégée

La formule englobe l'amortissement, l'intérêt et l'assurance (facteurs parfois négligés) et les avantages marginaux du personnel de réparation et d'entretien, à l'exclusion des salaires et des avantages marginaux des machinistes. Cette formule est la suivante:

$$C = \frac{2,4 \times A}{LE}$$

où C = coût en dollars E.-U. par heure-machine productive (PMH) coût du machiniste non compris;

A = coût de l'achat de la machine en dollars E.-U.;

LE = durée probable de la machine en PMH ainsi qu'indiqué dans la section 3.3.3 .

Cette formule est expliquée plus longuement dans la section 3.3.4 .

12.2 Formules pour les transports à courte distance

Ces formules peuvent être utilisées dans tous les systèmes de transports entre la souche et le bord de la route. En théorie, elles sont applicables aussi bien au transport manuel et animal qu'au transport mécanique, mais elles conviennent mieux à ce dernier. Certaines des données utilisées dans les formules sont employées également dans le calcul de l'espacement optimal des routes d'alimentation: charge utile en mètres cubes, vitesse de roulage, coût de fonctionnement de la machine (machiniste compris).

Les formules de production et de prix de revient peuvent être appliquées séparément:

a) Production: $MTP = \dfrac{60 \times L}{TT + \dfrac{2\ ASD}{ATS}}$

b) Coût: $MTC = \dfrac{C + c(1 + f)}{MTP}$

ou peuvent également être combinées comme suit:

$$MTC = \frac{(TT + \frac{2\ ASD}{ATS})\ C + c(1 + f)}{60 \times L}$$

où: MTP = production en m^3/PMH

MTC = coût des transports à courte distance en dollars E.-U. par m^3

TT = temps des opérations terminales (chargement, déchargement, retards) en minutes par chargement

ASD = distance moyenne de traînage ou de portage en mètres, ainsi que calculée dans l'annexe D ou mesurée au sol

ATS = vitesse moyenne de roulage en m/minute

f = coût des avantages marginaux exprimé en pourcentage du salaire

L = charge utile moyenne en m^3

C = coût machine en dollars E.-U. par PMH (non compris machiniste)

c = salaire du machiniste en dollars E.-U. par PMH

12.3 Coût de fonctionnement des camions ou des camions-remorques: formule abrégée

Le coût de fonctionnement des engins de transport sur longues distances, pour des raisons déjà indiquées dans ce manuel, doit être ventilé en coût par heure de stationnement et en coût par heure de roulage et il faut distinguer ces deux éléments quand on estime ou analyse le coût d'une opération de transport. Une formule détaillée (la formule A) est présentée au chapitre 3 et étudiée plus longuement dans l'annexe H. Si l'on veut obtenir rapidement des valeurs approximatives, on peut appliquer une formule abrégée:

COUT HORAIRE

Camion ou camion-remorque	Remorque
i) $CSH = \frac{C1}{15\ 000} + c(1 + f)$	$CSH = \frac{C2}{20\ 000}$
ii) $CTH = CSH + \frac{2,4 \times C1}{10\ 000}$	$CTA = \frac{2,4 \times C2}{15\ 000}$

où:

CSH = coût en dollars E.-U. par heure de stationnement du camion, du camion-remorque ou de la remorque

CTH = coût en dollars E.-U. par heure de roulage du camion, du camion-remorque ou de la remorque

C1 = coût d'acquisition du camion ou du camion-remorque

C2 = coût d'acquisition de la remorque

c = salaire du conducteur en dollars E.-U. par heure d'utilisation

f = coût des avantages marginaux exprimé en pourcentage du salaire

13. OPERATIONS MANUELLES SUR LE PARTERRE DE COUPE

13.1 Abattage manuel à la scie

Pour l'abattage, on peut se servir d'une scie à main ou d'une scie mécanique. On estimera comme suit la production et le coût:

a) déterminer ou estimer le diamètre moyen à hauteur de poitrine (DHP) ou le volume moyen des arbres marchands du peuplement (Le diamètre à hauteur de poitrine correspond au volume de l'arbre moyen du peuplement; il diffère peu de la moyenne mathématique des diamètres);

b) déterminer le volume abattu par jour en m^3 (PDF) par la formule:

$$PDF = \frac{SH}{FT\ (1 + \sum TA)}$$

où:

PDF = volume abattu par homme et par jour en m^3

SH = journée de travail en heures, ou durée horaire des postes

FT = temps d'abattage en heures-homme par m^3, d'après le tableau 15

TA = ajustements de temps, exprimés sous forme décimale, comme à la section 11.1

c) déterminer le coût d'abattage par m^3 en appliquant la formule:

$$CF = \frac{c\ (1 + f) + CS}{PDF}$$

où:

CF = coût d'abattage en dollars E.-U. par m^3

f = coût des avantages marginaux en pourcentage du salaire

c = salaire par jour en dollars E.-U.

CS = coût journalier en dollars E.-U. de l'amortissement et du fonctionnement de la scie (uniquement pour les scies mécaniques)

PDF = volume abattu par homme et par jour en m^3

TABLEAU 15

TEMPS D'ABATTAGE MANUEL (1) (2)

DHP moyen des arbres du peuplement en cm	Volume moyen approximatif des arbres en m^3	Heures d'ouvriers par m^3 (3)	
		Scie à arc	Scie mécanique
15	0,083	0,29	0,15
20	0,205	0,20	0,10
25	0,375	0,17	0,08
30	0,60	0,16	0,07
35	0,87	0,16	0,07
40	1,17	0,16	0,06

Notes: (1) faire les interpolations nécessaires

(2) d'après une étude de travail à la pièce

(3) appliquer les corrections de temps voulues (voir section 11.1)

13.2 Ebranchage manuel à la hache ou à la scie mécanique

L'ébranchage manuel sur le parterre de coupe peut être effectué à la hache ou à la scie mécanique. Le temps nécessaire pour ébrancher l'arbre dépend de sa taille, de la répartition des branches sur la longueur du fût et de l'outil utilisé. Pour plus de commodité, on répartira ici les caractéristiques de houppier en trois classes:

Classe 1: l'arbre porte des rameaux à ébrancher sur moins de 50 pour cent de sa longueur totale

Classe 2: l'arbre porte des branches sur 50 à 75 pour cent de sa longueur totale

Classe 3: l'arbre porte des branches sur plus de 75 pour cent de sa longueur totale

Pour estimer le rendement et le coût de l'ébranchage manuel sur parterre de coupe, procéder comme suit:

Préparation du chantier: nettoyage du sous-bois à la machette

Abattage à la scie à chaîne

a) déterminer ou estimer le diamètre moyen à hauteur de poitrine ou le volume moyen des arbres marchands du peuplement

b) estimer par sondage ou observation les caractéristiques de houppier du peuplement (classes 1, 2 ou 3)

c) déterminer le rendement de l'ébranchage en m^3 par homme et par jour (PDD) en appliquant la formule:

$$PDD = \frac{SH}{DT\ (1 + \sum TA}$$

où:

PDD = rendement de l'ébranchage par homme et par jour en m^3

SH = heures de poste ou journée de travail en heures

DT = temps d'ébranchage en heures/ouvrier au m^3, d'après le tableau 16(a) ou 16(b)

TA = ajustements de temps, exprimés sous forme décimale, comme à la section 11.1

d) déterminer le coût de l'ébranchage au m^3 en appliquant la formule:

$$CD = \frac{c\ (1 + f) + CS}{PDD}$$

où:

CD = coût de l'ébranchage en dollars E.-U. au m^3

c = salaire journalier en dollars E.-U.

f = coût des avantages marginaux en pourcentage du salaire

CS = coût de fonctionnement de la scie en dollars E.-U. par jour

PDD = rendement de l'ébranchage en homme/jour

TABLEAU 16 (a)

EBRANCHAGE A LA HACHE SUR PARTERRE DE COUPE (1) (2)

DHP moyen du peuplement en cm	Volume moyen approximatif des arbres en m^3	Heures d'ouvriers par m^3 (3) Caractéristiques de houppier 1	2	3
15	0,083	0,26	0,33	0,51
20	0,205	0,25	0,30	0,39
25	0,375	0,24	0,27	0,33
30	0,60	0,23	0,25	0,30
35	0,87	0,22	0,25	0,28
40	1,17	0,22	0,23	0,26

Notes: (1) faire les interpolations nécessaires

(2) d'après une étude de travail à la pièce

(3) introduire les ajustements de temps voulus (voir section 11.1)

TABLEAU 16 (b)

EBRANCHAGE A LA SCIE MECANIQUE SUR PARTERRE DE COUPE (1) (2)

DHP moyen du peuplement en cm	Volume moyen approximatif des arbres en m^3	Heures d'ouvriers par m^3 (3) Caractéristiques de houppier 1	2	3
15	0,083	0,21	0,29	0,43
20	0,205	0,20	0,24	0,32
25	0,375	0,19	0,21	0,26
30	0,60	0,18	0,20	0,24
35	0,87	0,17	0,19	0,22
40	1,17	0,16	0,18	0,21

Notes: (1) faire les interpolations nécessaires

(2) d'après une étude de travail à la pièce

(3) appliquer les corrections de temps voulues (voir section 11.1)

13.3 Tronçonnage manuel à la scie

Le tronçonnage annuel sur parterre de coupe peut être effectué à l'aide d'une scie à main ou d'une scie mécanique. Pour estimer le rendement et le coût, procéder comme suit:

a) déterminer ou estimer le diamètre moyen à hauteur de poitrine ou le volume moyen des arbres marchands du peuplement

b) déterminer le rendement du tronçonnage en m^3 par homme et par jour (PDB) en appliquant la formule:

$$PDB = \frac{SH}{BT\ (1 + \sum TA)}$$

où:

PDB = rendement du tronçonnage par homme et par jour en m^3

SH = journée de travail en heures ou durée horaire des postes

BT = temps de tronçonnage en heures d'ouvrier au m^3, d'après le tableau 17 (a) ou 17 (b)

TA = corrections de temps, exprimées sous forme décimale, comme à la section 11.1

c) déterminer le coût du tronçonnage au m^3 en appliquant la formule:

$$CB = \frac{c\ (1 + f) + CS}{PDB}$$

où:

CB = coût du tronçonnage en dollars E.-U. par m^3

c = salaire journalier en dollars E.-U.

f = coût des avantages marginaux en pourcentage du salaire

CS = coût journalier en dollars E.-U. de l'amortissement et du fonctionnement de la scie

PDB = rendement du tronçonnage par journée d'ouvrier

TABLEAU 17 (a)

TRONÇONNAGE A LA SCIE A MAIN SUR PARTERRE DE COUPE (1) (2)

DHP moyen du peuplement en cm	Volume moyen approximatif des arbres en m^3	Heures d'ouvriers par m^3 (3) Longueur des grumes en m 2,44 m	3 m	5 m
15	0,083	0,94	0,82	0,58
20	0,205	0,80	0,70	0,47
25	0,375	0,77	0,67	0,42
30	0,60	0,75	0,65	0,41

Notes: (1) faire les interpolations nécessaires

(2) d'après une étude de travail à la pièce

(3) appliquer les corrections de temps voulues (voir section 11.1)

TABLEAU 17 (b)

TRONÇONNAGE A LA SCIE MECANIQUE SUR PARTERRE DE COUPE (1) (2)

DHP moyen du peuplement en cm	Volume moyen approximatif des arbres en m^3	Heures d'ouvriers par m^3 (3) Longueur des grumes en m 2,44 m	3 m	5 m
15	0,083	0,60	0,54	0,41
20	0,205	0,47	0,43	0,33
25	0,375	0,37	0,34	0,26
30	0,60	0,31	0,29	0,21
35	0,87	0,28	0,25	0,18
40	1,17	0,26	0,23	0,16

Notes: (1) faire les interpolations nécessaires

(2) d'après une étude de travail à la pièce

(3) appliquer les corrections de temps voulues (voir section 11.1)

Si un fût entier est tronçonné manuellement en bordure de route, le tableau 17 (a) indique avec une précision raisonnable le temps par mètre cube avec une scie à arc. En cas d'utilisation de la scie mécanique, les indications du tableau 17 (b) sont également assez exactes si on tronçonne les arbres un à un. Si, au contraire, on tronçonne simultanément plusieurs arbres placés côte à côte ou groupés en tas, le tableau n'est plus applicable. Les conditions de travail seront supérieures à celles qui règnent sur le parterre de coupe, mais les manoeuvres des débardeurs ou les arrêts d'approvisionnement en bois provoqueront plus de temps morts.

Quand le travail est exécuté en bordure de route, il n'y a pas lieu d'appliquer de corrections de temps pour tenir compte de la pente, du sous-bois et de l'enneigement (voir section 11.1).

13.4 Empilage des bois courts sur le parterre de coupe

Si l'on débite manuellement sur le parterre de coupe des bois courts destinés à être amenés en bordure de route par des porteurs mécaniques autochargeurs (forwarders), il faudra les empiler ou les grouper pour faciliter leur enlèvement par ces machines. Pour estimer le rendement et le coût, procéder comme suit:

a) déterminer le rendement du groupage en m^3 par journée d'ouvrier en appliquant la formule:

$$PDP \quad \frac{SH}{0{,}75\ BT\ (1 - TA)}$$

ou:

PDP = rendement du groupage en m^3 par journée d'ouvrier

SH = heures de poste ou journée de travail en heures

BT = temps de tronçonnage en heures d'ouvrier par m^3 d'après le tableau 17 (b)

TA = corrections de temps, exprimées sous forme décimale, comme à la section 11.1

b) déterminer le coût du groupage au m^3 en appliquant la formule:

$$CP = \frac{c\ (1 + f)}{PDP}$$

où:

CP = coût du groupage en dollars E.-U. au m^3

c = salaire journalier en dollars E.-U.

f = coût des avantages marginaux exprimé en pourcentage du salaire

PDP = rendement du groupe par homme et par jour

13.5 Opérations manuelles combinées sur le parterre de coupe

Quand plusieurs opérations manuelles d'abattage, d'ébranchage, de tronçonnage et de groupage sont effectuées sur le parterre de coupe dans le cadre d'un système de récolte de fûts entiers ou de bois courts, les données de rendement et de coût peuvent être obtenues en combinant les tableaux pertinents des sections 13.2 à 13.4.

a) Par exemple, quels seront le rendement et le coût de la production manuelle de fûts entiers sur le parterre de coupe par abattage et ébranchage à la scie mécanique, étant donné les facteurs ou conditions ci-après:

i) peuplement d'arbres présentant un diamètre moyen à hauteur de poitrine de 20 cm et des conditions de houppier correspondant à la classe 2;

ii) quotient de déplacement (voir section 11.1) égal à 2,3;

iii) altitude: 500 m;

iv) température moyenne pendant la journée de travail: 25 pour cent; humidité relative: 80 pour cent;

v) poids moyen du travailleur: 66 kg;

vi) journée de travail de 8 heures sur le chantier;

vii) salaire moyen: 10 dollars E.-U. plus 40 pour cent pour avantages marginaux;

viii) coût de la scie mécanique: 5 dollars E.-U. par jour.

b) On déterminera la production journalière en associant les formules de production des sections 13.1 et 13.2.

$$PDFD = \frac{SH}{(FT + DT)\ (1 + \sum TA)}$$

où:

PDFD = rendement journalier de l'abattage et de l'ébranchage en m^3

SH = nombre d'heures de la journée ou du poste de travail

FT = temps d'abattage en heures d'ouvrier par m^3

DT = temps d'ébranchage en heures d'ouvrier par m^3

TA = corrections de temps comme à la section 11.1

ce qui donne:

$$PDFD = \frac{8}{(0,10 + 0,24)\ (1 + 0,10 + 0,16 + 0,04 + 0,15)} = 16,2\ m^3 \text{ par jour.}$$

c) Déterminer le coût de l'opération en appliquant la formule ci-après:

$$CFD = \frac{c\ (1 + f) + CS}{PDFD}$$

où:

CFD = coût de l'abattage et de l'ébranchage par m^3

c = salaire journalier en dollars E.-U.

f = coût des avantages marginaux en pourcentage du salaire

CS = coût journalier de fonctionnement de la scie mécanique en dollars E.-U.

PDFD = rendement journalier de l'abattage et de l'ébranchage

ce qui donne:

$$CFD = \frac{(10 \times 1,40) + 5}{16,2} = 1,18 \text{ dollar E.-U. par } m^3$$

14. ABATTEUSES-GROUPEUSES

Les abatteuses-groupeuses sont des engins à roues ou à chenilles conduits par un seul machiniste et destinées à abattre et à grouper des arbres entiers qui seront débardés jusqu'à la route (système de récolte par arbres entiers) ou qui seront réduits en fûts (système de récolte par fûts entiers) ou en grumes (récolte de bois courts) sur le parterre de coupe. On distinguera deux grands types:

i) machines à flèche articulée déplaçant une tête de coupe équipée d'une scie à chaîne ou d'une cisaille, grâce à laquelle elles peuvent couper les arbres, les enlever du sol, les faire basculer dans la direction désirée et les grouper de telle manière que les gros bouts soient alignés;

ii) machines à faible empattement dépourvues de flèche articulée et munies d'une tête dont tous les organes, y compris le sécateur, sont très rapprochés, en sorte qu'il faut déplacer et faire pivoter l'ensemble de la machine pour pouvoir procéder au groupage.

14.1 Abatteuses-groupeuses à flèche articulée

14.1.1 Types courants

Certaines abatteuses-groupeuses à flèche articulée sont chenillées. D'autres ont un châssis articulé à quatre roues motrices, avec moteur à l'arrière. Dans certains cas, la flèche et la cabine sont montées sur une plaque tournante; d'autres sont montées sur colonne. Dans certains cas, la plaque tournante est munie d'un dispositif hydraulique de mise à niveau, de façon que la plateforme reste horizontale quand la machine travaille sur terrain en pente. C'est le cas de la machine Drott, montée sur chenille (pour pentes de 15 pour cent maximum) et de la machine Ösa, montée sur roues (pour pentes de 30 pour cent maximum).

Parfois, on remplace les cisailles de la tête de coupe par une scie à chaîne à commande hydraulique; dans d'autres cas, on adopte des lames coupeuses à profil concave pour orienter l'effort de cisaillage dans la direction de la souche et réduire les forces qui tendent à fracturer le gros bout. La plupart des têtes de coupe peuvent recevoir des arbres de diamètre allant jusqu'à 45 et 50 cm et sont munies d'organes de préhension multiple, en sorte qu'elles peuvent cisailler, emmagasiner et faire basculer sur le tas deux ou trois petits arbres et même davantage en une seule opération.

La largeur de la bande exploitée par les abatteuses-groupeuses à flèche articulée varie entre 12 et 15 m suivant la stabilité de la machine. Ce facteur ainsi que la portée minimum de la flèche, la taille moyenne des arbres marchands et la densité du peuplement déterminent le volume de bois accumulé par javelle. Sans déplacer la machine, on couvre qu'on peut abattre 5 arbres dans un peuplement de 1 000 arbres :s de résineux des zones tempérées, le volume de la javelle est normalement compris entre 1,25 m^3 et 2,5 m^3, parfois moins, parfois davantage.

Les deux types d'abatteuses-groupeuses à flèche articulée possèdent leurs avantages et leurs inconvénients. La plupart des machines chenillées ont une meilleure stabilité que les machines à roues, parce que le centre de gravité est beaucoup plus bas, mais la garde au sol est bien plus réduite. Les machines à roues se déplacent plus facilement sur terrain accidenté, mais, dans les deux cas, les possibilités d'utilisation sont limitées sur forte pente.

Le service et les réparations sont plus faciles dans le cas des machines à roues et, par conséquent, l'utilisation est meilleure. Ces machines se déplacent plus rapidement entre les lieux de travail et les garages. Dans les deux cas, il est possible de travailler de nuit, à condition de munir la machine d'un bon éclairage. Aucun type ne travaille bien, en montée ou en descente, sur des pentes supérieures à 30 pour cent. Les têtes de coupe équipées de scie à chaîne sont plus légères que celles équipées de cisaille, ce qui permet d'allonger la flèche sans compromettre la stabilité de la machine.

Le rendement des abatteuses-groupeuses à flèche articulée ne varie guère selon les modèles quand le conducteur est expérimenté et intéressé au travail et quand la machine manoeuvre sur un sol égal qui n'est pas encombré par le sous-bois. En se fondant sur des échantillons statistiques limités, on peut dire que les temps de production de base sont de l'ordre de 0,35 minute par arbre, dans les cas des machines européennes et nord-américaines, c'est-à-dire environ 175 arbres par heure-machine productive. Néanmoins, sur plusieurs semaines ou plusieurs mois, le rendement est ordinairement très inférieur à ces chiffres à cause des difficultés rencontrées normalement au cours des opérations. Les difficultés du travail hors route sont mentionnées à la section 11.2 où l'on indique les pourcentages de correction à appliquer aux temps de base par arbre ou par m^3.

Outre les facteurs énumérés dans la section 11.2, plusieurs autres conditions influent sur le rendement de l'abatteuse-groupeuse exprimé en temps par arbre ou par m^3:

a) Nombre moyen d'arbres marchands à l'hectare: on appliquera, en faisant les interpolations nécessaires, les pourcentages de correction ci-après aux temps de base par arbre ou par m^3:

Arbres par ha	Pourcentage de correction
1 500 +	Néant
1 500 - 1 201	+ 10 %
1 200 - 901	+ 20 %
900 - 601	+ 30 %
600 - 501	+ 40 %

b) Le diamètre des arbres influe sur la production dans une mesure trop faible pour appeler correction.

c) La proportion des arbres sans valeur marchande (abandonnés après abattage) par rapport aux arbres marchands coupés et groupés a également une influence sur le rendement. La correction de temps, directement proportionnelle à ce rapport, est calculée par arbre ou par m^3. Le rendement de l'abattage et du groupage, en m^3/PMH, ressort de la formule ci-après:

$$PFBM = \frac{60 \times VT}{0,35\ (1 + \sum TA)}$$

où:

PFBM = rendement de l'abatteuse-groupeuse en m^3/PMH;

VT = volume moyen des arbres en m^3;

0,35 = temps productif de base de l'abatteuse-groupeuse, exprimé en minutes par arbre;

TA = pourcentage de correction du temps, exprimé sous forme décimale, d'après les sections 11.2 et 14.1.1 ci-dessus.

Le coût de l'abattage-groupage ressort de la formule:

$$FBCM = \frac{C + c\ (1 + f)}{PFBM}$$

où:

FBCM = coût de l'abattage-groupage en dollars E.-U./m^3;

C = coût de fonctionnement de l'abatteuse-groupeuse en dollars E.-U./PMH, comme indiqué dans la section 3.3.4;

PFBM = production de l'abatteuse-groupeuse en l^3/PMH;

c = salaire du conducteur en dollars E.-U./PMH;

f = coût des avantages marginaux exprimé en pourcentage du salaire.

14.1.2 Types spéciaux

Il faut mentionner ici l'abatteuse-groupeuse Koehring. Il s'agit d'une grande machine articulée dont la garde au sol est de 85 cm et dont les quatre roues sont toutes à commande hydrostatique. La cabine et la flèche sont montées sur une plaque tournante installée sur le châssis avant, alors que le moteur repose sur le châssis arrière. La machine peut couper et grouper des arbres ayant un diamètre maximum de 76 cm à la souche, et la tête coupeuse multiple peut sectionner et retenir dans ses pinces plusieurs arbres avant de pivoter et de déposer le lot sur le tas. Le temps supplémentaire est de 9 secondes par arbre en plus. La machine peut travailler sur des pentes de 40 pour cent si les roues sont équipées de chaînes.

14.2 Abatteuse-groupeuse à faible empattement

Un des modèles les plus connus est le Melroe M-970 Bobcat, fabriqué par la Clark Equipment Company, à Gwinner, Dakota du Nord (Etats-Unis). C'est une machine non articulée à quatre roues motrices dont le poids est de 5 tonnes, l'empattement de 115 cm et la garde au sol de 16 cm. La capacité de levage et de déchargement dépasse 2 700 kg, la transmission est hydrostatique et les rapports de vitesse variables en marche avant et en marche arrière permettent à la machine de pivoter rapidement sur place. Equipée de chenilles qui améliorent la traction et la flottaison, elle peut travailler avec un bon rendement dans environ 60 cm de neige. Toutefois, elle est conçue essentiellement pour le travail sur terrain égal et dégagé.

Les cisailles du Bobcat peuvent couper des arbres d'un diamètre maximum de 35 cm et peuvent emmagasiner 4 ou 5 petits arbres avant de les déposer sur la pile. Etant donné que la machine transporte les arbres après les avoir sectionnés, elle n'a aucun mal à faire des piles représentant le chargement complet d'une débardeuse. On a noté,dans un peuplement de feuillus, des cadences d'abattage-groupage de trois arbres (de 20 à 60 cm de diamètre à la souche) à la minute, et une formation de trois piles de 20 arbres chacune dans un temps de 15 minutes. Sur de longues périodes, la production peut atteindre 200 arbres par PMH dans une coupe à blanc. L'engin accepte des pentes maximales de 20 pour cent, mais le rendement diminue à mesure que la déclivité augmente.

Etant donné que la machine est peu encombrante, maniable et capable de travailler en pente, et que la tête de coupe peut loger à la fois plusieurs petits arbres, on peut se servir du Bobcat pour éclaircir les plantations si le terrain est suffisamment égal pour que la faible garde au sol ne pose pas de problèmes. Dans des plantations en lignes, on s'en est servi efficacement pour enlever deux rangées sur quatre, mais la machine devrait pouvoir également enlever une seule rangée et éclaircir sélectivement les deux rangées adjacentes de part et d'autre, lorsque les arbres sont espacés de 8 pieds (2,44 m), à condition que les racines ne risquent pas d'être endommagées.

Le coût d'achat du Bobcat représente environ 50 à 60 pour cent de celui des grandes abatteuses-groupeuses à flèche articulée.

On peut estimer le rendement en arbres ou en m^3 par PMH et le coût par arbre ou par m^3 en appliquant les formules de la section précédente, avec un temps productif de base de 20 secondes, soit 0,33 minute par arbre. Ces machines sont souvent conduites par leurs propriétaires qui travaillent au rendement, donc avec un maximum de motivation. Il y a lieu de retenir ce point quand on fixe les pourcentages d'ajustement à introduire dans la formule de rendement.

15. CHARGE UTILE DES DEBARDEURS DU TYPE SKIDDER

15.1 Généralités

On appelle "skidders" les engins de débardage qui traînent des grumes ou des arbres entièrement ou partiellement en contact avec le sol. La préparation des grumes ou des arbres en vue de ce mode de débardage peut être effectuée manuellement à la hache ou à la scie, ou bien mécaniquement à l'aide d'abatteuses-groupeuses,d'ébrancheuses et d'abatteuses-ébrancheuses sur le parterre de coupe.

La traction peut être animale ou mécanique. Dans la publication de la FAO intitulée "Harvesting Man-Made Forests in Developing Countries" (non traduite en français) (2), on étudie l'emploi des mules ou des boeufs (mais non des chevaux qui sont peu utilisés aujourd'hui dans les pays tempérés et qui sont incapables, pour des raisons physiologiques, de rendre des services dans les pays tropicaux). Le halage mécanique est également étudié en détail, mais pas tout à fait de la même manière que dans le présent manuel.

Il y a deux principaux types de skidder: dans le cas des skidders à câble et à grappin, l'extrémité avant de la charge est suspendue derrière la machine. Dans le cas des skidders à pinces, l'extrémité avant de la charge repose sur la sellette du châssis arrière. Les premières sont des machines articulées à quatre roues motrices, les secondes sont généralement des machines articulées à six roues motrices, avec boggie chenillé monté en tandem sous le châssis arrière.

Avec les deux modèles, on peut théoriquement traîner des fûts entiers, gros bouts en avant ou fins bouts en avant, et des arbres entiers, gros bout en avant. Dans le présent manuel, on s'occupera principalement de la méthode la plus ordinaire, celle où les gros bouts sont en avant.

15.2 Formule générale de la charge

En principe, la charge utile maximale d'un skidder à l'autre, à grappin ou à griffes de serrage travaillant en forêt sur terrain plat peut être exprimée approximativement par la formule:

$$fs.PL = t[TE - r\ (TW + x.PL)]$$

où:

PL = charge utile en kg;

fs.PL = frottement de la charge utile en kg;

t(4) = coefficient de traction;

TW(1) = tare du skidder en kg;

fs(3) = coefficient de halage;

TE(2) = effort de traction à la jante ou skidder, en kg;

r(5) = coefficient de résistance au roulage;

x(6) = pourcentage (sous forme décimale) de la charge utile supporté par le skidder.

Notes: (1) TW: La tare d'un modèle classique de skidder à câble à châssis articulé et à quatre toues motrices et de l'ordre de 68.GHP kg, alors que la tare des skidders à pinces équipés d'un boggie arrière monté en tandem est de l'ordre de 87.GHP kg.

(2) TE: L'effort de traction à la jante des modèles classiques de skidder à câble équivaut à environ 115 pour cent de la tare, c'est-à-dire 115 pour cent de 68.GHP (voir note (1) ci-dessus), autrement dit 78.GHP; dans le cas des skidders à pinces, l'effort équivaut à environ 135 pour cent de la tare, c'est-à-dire 135 pour cent de 87.GHP, autrement dit 117.GHP.

(3) fs: Bennet (20) a constaté que dans le cas où un skidder à câble traîne des fûts entiers suspendus à l'arche de débardage gros bouts en avant, la machine supporte 60 pour cent du poids de la charge et que le coefficient de halage fs, c'est-à-dire le rapport entre l'effort de halage et la charge utile totale était de l'ordre de 0,48 sur le terrain forestier normal dans l'est du Canada. Etant donné que le frottement est causé par les 40 pour cent de la charge portant sur le sol, le coefficient de friction réel est de l'ordre de 1.20. Bennett a constaté également que l'effort au démarrage dépassait de 10 à 15 pour cent l'effort de traînage de la charge déjà en mouvement. Il en résulte

que le coefficient de halage, si on l'applique à la totalité de la charge, (pour plus de commodité), serait de l'ordre de 110-115 pour cent (120 pour cent de 40 pour cent) ou encore 0,55 sous forme décimale. Dans le cas du skidder à pinces, si l'on admet que 70 pour cent de la charge est supportée par la traverse quand la machine débarde des fûts entiers gros bouts en avant, le coefficient de halage sera de 110-115 pour cent (120 pour cent de 30 pour cent) ou encore environ 0,40 sous forme décimale;

(4) t: En analysant des expériences effectuées dans diverses parties du monde, on constate que les coefficients de traction ci-après sont raisonnablement faibles:

a) skidder à câble ou à grappin équipé de pneus à barrettes: 0,55

b) skidder à pinces équipé de chenilles sur les boggies arrière: 0,70

(5) r: La résistance au roulage est due à la déformation du terrain par les roues ou chenilles et aux obstacles que la machine rencontre sur son chemin. On ne tient pas compte de la résistance de la pente. Le coefficient, appliqué au poids brut du véhicule, est donné approximativement par la formule:

$$r = \frac{NHP \cdot E \cdot 4562}{GVW \cdot W}$$

où:

r = coefficient de résistance au roulage

NHP = puissance nette au volant = 0,90.GHP;

E = coefficient d'utilisation de la puissance = 0,85;

GHW = poids brut du véhicule en kg;

V = vitesse de roulage en m/minute.

En appliquant cette formule, on constate que r est de l'ordre de 0,50 pour les deux types de skidder, en été, sur terrain forestier normal. Il est évident que le coefficient sera plus élevé sur terrain très mou ou très accidenté ou en neige profonde et plus faible sur terrain plat bien roulant;

(6) x: ce paramètre représente la proportion du poids des fûts entiers supportée par le skidder et formant partie du GVW. Bennett a trouvé une valeur de 0,60 pour les skidders à câbles et l'a estimée à environ 0,70 pour les skidders à pinces, dans le cas du débardage de fûts entiers, gros bouts en avant.

15.3 Halage de fûts entiers gros bouts en avant

Les coefficients à utiliser dans la formule générale de la charge utile pourront différer selon le type de skidder, les conditions de terrain et la forme des matériaux à débarder. Néanmoins, le tableau 18 présente des valeurs approximatives qui pourront être appliquées en cas de débardage de fûts entiers, gros bouts en avant, sur terrain plat dans un état normal.

Dans la pratique, le volume de la charge peut être limité pour des raisons diverses telles que les suivantes: dans le cas des skidders à câble, nombre d'élingues utilisées et volume des arbres; dans le cas des skidders à grappin, dimension des javelles ou nombre de javelles composant la charge; dans le cas des skidders à pinces, longueur de la partie marchande de l'arbre et dimension des pinces. En théorie, quand la charge est faible, les vitesses de déplacement du skidder devraient être plus élevées, mais, en pratique, elles peuvent être limitées par l'inconfort de la conduite et par les oscillations du véhicule sur terrain forestier accidenté. Les vitesses de déplacement sont ordinairement de 50 à 75 m/mn et la différence entre la vitesse à vide et la vitesse en charge est de moins de 20 pour cent.

TABLEAU 18

VALEUR DES PARAMETRES A UTILISER DANS
LA FORMULE DE DETERMINATION DE LA CHARGE DES SKIDDERS
DANS LE CAS OU DES FUTS ENTIERS SONT HALES
GROS BOUTS EN AVANT SUR TERRAIN PLAT

Paramètre	Skidders à câble et à grappin	Skidders à pinces
fs (3)	0,55	0,40
t (4)	0,55	0,70
r (5)	0,50	0,50
TE (2)	78.hp	117.hp
TW (1)	68.hp	87.hp
x (6)	0,60	0,70

Notes (1) à (6): Voir explications au bas de la formule de la section 15.2.

La formule de la section 15.2 indique la charge des skidders sur terrain plat. Il est évident que la charge peut être plus importante en descente et moins importante en montée. Dans ces conditions, la charge pourra être calculée à partir de la formule ci-dessus en ajustant les coefficients de résistance au halage et au roulage de manière à tenir compte de la pente. En appliquant les formules appropriées, on obtiendra les données du tableau 19.

TABLEAU 19

CHARGE UTILE DES SKIDDERS PAR CV DE PUISSANCE
BRUTE DANS LE CAS OU DES FUTS ENTIERS SONT
DEBARDES GROS BOUTS EN AVANT (1) (2)

Pente	Skidders à câble	Skidders à pinces
- 20 %	70 kg	180 kg
- 10 %	48 kg	115 kg
0 %	34 kg	80 kg
+ 10 %	24 kg	57 kg
+ 20 %	17 kg	42 kg

Notes: (1) faire les interpolations nécessaires pour les pourcentages de pente intermédiaires;

(2) les poids peuvent être convertis en volume si on connaît le poids au m3.

En appliquant les données du tableau 19, on verra que, si le bois pèse 900 kg au m^3, la charge maximum normale d'un skidder à pinces de 150 ch gravissant, avec des fûts entiers traînés le gros bout en avant une pente de 10 pour cent, aura le volume ci-après:

$$\frac{150 \times 57}{900} = 9,5 \text{ m}^3$$

et que, pour un skidder à câble de 100 ch descendant une pente de 10 pour cent, le volume sera:

$$\frac{100 \times 48}{900} = 5,3 \text{ m}^3$$

Les données du tableau 19 sont présentées en kg par ch de puissance brute parce que le poids par unité volumétrique varie suivant les essences. Connaissant par exemple le poids au m^3 d'un bois sous écorce, on peut établir un tableau similaire au tableau 19 en m^3/GHP.

La charge maximum normale des skidders à grappin sera inférieure d'environ 50 pour cent à celle des skidders à câble de même puissance à cause du poids supérieur du châssis arrière plus robuste et de la disposition en porte-à-faux de la flèche à grappin.

15.4 Halage de fûts entiers fins bouts en avant

On calcule que si l'arbre a une décroissance normale (environ 1 cm par m) et un diamètre de 10 cm au fin bout, 35 pour cent seulement de la charge est supportée par un skidder à câble halant des fûts entiers fins bouts en avant. En appliquant le coefficient de frottement de 1,20 trouvé par Bennett (20) et en tenant compte de la force supplémentaire nécessaire au démarrage, on obtiendra un coefficient de halage fs de 110-115 pour cent (120 pour cent de 65 pour cent), soit environ 0,88.

En appliquant la formule générale de la charge des skidders et en utilisant le coefficient approprié, par exemple un coefficient de halage de 0,88, on constate que les charges sont inférieures d'environ 25 pour cent aux valeurs indiquées dans le tableau 19 qui se rapporte au débardage de fûts entiers gros bouts en avant.

15.5 Halage d'arbres entiers

Bennett (20) a trouvé qu'environ 50 pour cent du poids des arbres était supporté par un skidder à câble débardant des arbres entiers. Dans ce cas, la valeur du coefficient de halage fs se situerait à 110-115 pour cent (120 pour cent de 50 pour cent), soit encore 0,65, compte tenu d'un effort supplémentaire de 10 à 15 pour cent au démarrage.

On estime que 60 pour cent du poids de la charge est supporté par la sellette en cas de débardage d'arbres entiers par skidder à pinces. En ce cas, le coefficient de halage serait de 110-115 pour cent (120 pour cent de 40 pour cent), soit environ 0,55.

TABLEAU 20

VALEURS DES PARAMETRES UTILISES DANS LA FORMULE DE DETERMINATION DE LA CHARGE DES SKIDDERS DEBARDANT DES ARBRES ENTIERS SUR TERRAIN PLAT

Paramètre	Skidders à câble et à grappin	Skidders à pinces
fs	0,65	0,55
t	0,55	0,70
r	0,50	0,50
TE	78.hp	117.hp
TW	68.hp	87.hp
x	0,50	0,60

En appliquant la formule générale de charge des skidders et les paramètres du tableau 20, on obtient, pour le débardage d'arbres entiers, les charges approximatives par ch de puissance brute qui sont représentées au tableau 21. En comparant les valeurs de ce tableau et celles du tableau 19 relatif au débardage de fûts entiers, on voit que, quand il s'agit de débarder des arbres entiers et non pas des fûts entiers, le poids de la charge utile diminue d'environ 10 pour cent dans le cas des skidders à câble et de 15 pour cent dans le cas des skidders à pinces.

L'auteur d'un rapport inédit sur des essences résineuses typiques du Canada oriental indique que le fût (8 cm au fin bout) représente 65 pour cent du bois d'un arbre de 15 cm de diamètre à hauteur de poitrine et 73 pour cent du bois d'un arbre d'un diamètre de 40 cm. Si on débarde des arbres entiers, alors que 70 pour cent seulement de l'arbre est utilisable et que le poids de la charge utile est inférieur de 10 pour cent, on obtient environ 35 pour cent de moins de bois marchand par charge que si on débarde des fûts entiers, et le coût au m^3 est d'environ 50 pour cent plus élevé. Toutefois, ceci n'est vrai qu'à pleine charge. Si, par exemple, on se sert de skidders à câble pour débarder des arbres entiers de petites dimensions et que l'on utilise un nombre limité d'élingues, il est très probable qu'on évacuera à chaque voyage autant de bois utilisable que si l'on débardait des fûts entiers.

TABLEAU 21

POIDS DE LA CHARGE DES SKIDDERS PAR CHEVAL DE PUISSANCE BRUTE EN CAS DE DEBARDAGE D'ARBRES ENTIERS DANS DES CONDITIONS FORESTIERES NORMALES (1) (2)

Pente	Skidders à câble	Skidders à pinces
- 20 %	59 kg	133 kg
- 10 %	42 kg	93 kg
0 %	30 kg	68 kg
+ 10 %	22 kg	50 kg
+ 20 %	16 kg	37 kg

Notes: (1) faire les interpolations nécessaires pour les pourcentages de pente intermédiaires;

(2) on peut convertir les charges pondérales en m^3 de bois marchand si l'on connaît le pourcentage volumétrique de bois utilisable et le poids du bois sous écorce. Si 30 pour cent de l'arbre entier est inutilisable et si le bois sous écorce pèse 900 kg/m^3, on peut convertir le kg d'arbre entier par ch en m^3 de bois marchand par ch en appliquant le facteur $\frac{0,70}{900} = 0,00078$ aux chiffres du tableau.

16. SKIDDERS A CABLES

16.1 Halage de fûts entiers abattus et ébranchés à la main

Dans l'est canadien, la production de fûts entiers et leur halage par câble jusqu'à la route sont généralement exécutés par une équipe de trois hommes dont deux se chargent de l'abattage et de l'ébranchage (habituellement à la scie mécanique) et le troisième du débardage par câble et éventuellement de la mise en tas. Pour le travail et pour le matériel, on peut prendre divers arrangements. Le plus souvent, un entrepreneur ou une société d'exploitation fournit gratuitement les engins de débardage et verse à l'équipe une rémunération aux pièces ou une rémunération journalière complétée par des primes, les gains étant partagés également entre les membres de l'équipe qui d'ordinaire apportent chacun une scie mécanique.

Le conducteur du skidder livre en bordure de route les fûts entiers produits par ses co-équipiers. Comme on n'utilise pas habituellement plus de 10 élingues, la production par voyage peut être très inférieure à la capacité représentée au tableau 19, en particulier si les bois sont de petites dimensions. Dans une pareille organisation du travail, le temps machine productif est de l'ordre de 6 heures par jour et la production quotidienne se situe entre 40 et 50 m^3, selon le volume moyen des arbres, le terrain et la distance de halage. Etant entendu que c'est la production des deux bûcherons qui détermine la production journalière de l'équipe, cette production peut être estimée par la formule ci-après (voir aussi section 13.5 b):

$$PDFDS = \frac{2 \times SH}{(FT + DT)\ (1 + \sum TA)}$$

ou:

PDFDS = rendement de l'abattage et du débardage par équipe de trois hommes, en m^3 par jour;

SH = journée de travail ou heures de poste;

FT = temps d'abattage en heure d'ouvrier par m^3 (voir tableau 15);

DT = temps d'ébranchage en heures d'ouvrier par m^3 (voir tableau 16(a) ou 16(b);

TA = corrections de temps comme à la section 11,1.

On obtient le coût de l'abattage, de l'ébranchage et du débardage des fûts entiers jusqu'à la bordure de route par la formule:

$$CFDS = \frac{3c\ (1 + f) + 2CS + 6C}{PDFDS}$$

où:

CFDS = coût de l'abattage, de l'ébranchage et du débardage en dollars E.-U./m^3;

c = gain individuel quotidien en dollars E.-U.;

f = coût des avantages marginaux en pourcentage des gains;

CS = coût journalier d'une scie mécanique en dollars E.-U.;

C = coût de fonctionnement du skidder en dollars E.-U./PMH calculé selon la formule habituelle:

$$C = \frac{2\ .\ 4A}{LE};$$

PDFDS = rendement de l'abattage, de l'ébranchage et du débardage en m^3/jour.

En considérant le débardage comme une opération distincte, on obtient la production en m^3/PMH par la formule:

$$PSM = \frac{60 \times L}{TT + \frac{2\ ASD}{ATS}}$$

et le coût en dollars E.-U./m^3 par la formule:

$$SCM = \frac{C + c(1 + f)}{PMH}$$

ou:

PSM = production en m^3/PMH;

L = charge du skidder en m^3;

TT = temps des opérations terminales, en minutes (chargement, décrochage, temps morts à chaque voyage);

ASD = distance moyenne de halage en mètres;

ATS = vitesse moyenne de déplacement en m/minute;

SCM = coût du halage en dollars E.-U./m^3;

C = coût du fonctionnement du skidder en dollars E.-U./PMH;

c = salaire du machiniste en dollars E.-U./PMH;

f = coût des avantages marginaux en pourcentage du salaire.

Le temps passé sur le parterre de coupe pour élinguer les arbres, accrocher les élingues et tirer la charge en traîne peut varier entre 5 et 20 minutes selon la dimension des arbres, le terrain et la couverture du sol, le nombre des élingues utilisées, l'habileté des bûcherons et leur ardeur au travail, etc. Le décrochage et le réenroulage des élingues en bordure de route peuvent demander de 2 à 5 minutes. Ainsi, les temps d'opérations terminales peuvent varier assez considérablement, mais d'ordinaire ils se situent autour de 15 minutes par rotation, y compris les temps morts et les arrêts de travail pour motifs personnels.

Les vitesses de déplacement peuvent également varier dans des proportions considérables, comme il ressort du tableau 22, de même que le volume de la charge lorsque les arbres sont petits et que le nombre des élingues est limité à 10, cas le plus fréquent.

Prenons un skidder à câble de 100 ch qui coûte 30 000 dollars E.-U. et qui sert à haler des charges moyennes de 2 m^3 sous forme de fûts entiers, gros bouts en avant, à une vitesse moyenne de 60 m/minute pour l'aller et retour, dans une grande zone forestière où le terrain est surtout plat, la densité de peuplement avoisine 100 m^3/ha et les routes d'alimentation coûtent 2 000 dollars E.-U. au km. Les temps d'opérations terminales sont en moyenne de 15 minutes par charge. Le skidder travaille six heures productives par jour. Le salaire du machiniste s'établit à 8 dollars E.-U./PMH et les avantages marginaux représentent 30 pour cent de ce montant. A combien s'élèvera le coût de débardage en dollars E.-U./m^3?

Le coût du fonctionnement du skidder, non compris la rémunération de l'ouvrier, sera de 12 dollars E.-U./PMH, d'après la formule abrégée de la section 3.3.4. L'espacement optimal des routes d'alimentation, compte non tenu, dans le cas présent, des facteurs k et p, sera de 380 m selon la formule de l'annexe D.1, de sorte que la distance moyenne de débardage se situera aux alentours de 100 m.

Ayant déterminé les valeurs ci-dessus, on peut calculer le rendement et le coût en appliquant les formules indiquées ci-dessus. La production serait de 6,6 m^3/PMH (soit environ 40 m^3/jour) et le coût de 3,40 dollars E.-U./m^3.

Extraction jusqu'à la route au débardeur

TABLEAU 22

VITESSES CARACTERISTIQUES DE DEPLACEMENT DES SKIDDERS
A CABLE DANS DIVERSES REGIONS

Région	Vitesse en m/minute	
	A vide	En charge
1) Canada		
a) Intérieur de la Colombie britannique		
1) 92 ch	160	90
2) 185 ch	140	70
b) Ontario (skidder à grappin)		
1) Cas nº 1: 125 ch	75	50
2) Cas nº 2: 125 ch	105	60
2) Suède		
a) pistes de débardage	55	50
b) routes d'évacuation	115	90
3) Côte-d'Ivoire (185 ch)		
a) ouverture de la piste	17	-
b) piste déjà frayée par le skidder	80	60
c) piste ouverte par un bulldozer	105	85

16.2 Halage des arbres entiers

Le halage d'arbres entiers abattus à la main diffère peu du halage de fûts entiers. Néanmoins, la quantité de bois marchand débardée par rotation tombe à 65-73 pour cent si l'on utilise le même nombre d'élingues pour des arbres de même diamètre (voir section 15.5).

On se sert parfois de skidders à câble pour haler des arbres entiers récoltés par abatteuses-groupeuses mécaniques. Dans ce cas, on passe une seule élingue (en général, le câble principal du treuil) autour de la javelle, et les temps passés aux points fixes sont beaucoup plus courts, habituellement de l'ordre de 5 à 8 minutes par charge, temps morts compris. On peut calculer le rendement et les coûts dans des situations particulières en employant les méthodes déjà décrites à la section précédente. Toutefois, il faut noter que les cimes et les branches représentent entre 27 et 35 pour cent du poids des arbres dans les forêts de résineux des zones tempérées du nord - et probablement davantage dans certaines régions - ce qui réduit la charge ayant une valeur marchande et augmente le coût du débardage au mètre cube.

17. SKIDDERS A GRAPPIN

Ces machines, mises au point en Amérique du Nord, dérivent des skidders à câble dont elles diffèrent par les points suivants: châssis et essieu arrière plus lourds, flèche à grappin en porte-à-faux remplaçant l'arche de débardage, poids supérieur d'environ 2 000 kg. Le treuil et le câble ne sont pas supprimés, car ils servent à bloquer le grappin quand la machine voyage à vide, et à tirer la charge quand le véhicule embourbé s'est débarrassé de son chargement pour gagner un point où le terrain est plus ferme.

Les skidders à grappin servent à peu près uniquement à livrer des arbres récoltés par abatteuses-groupeuses mécaniques à des "processors" installés en bordure de route. Le skidder recule jusqu'au tas d'arbres, côté gros bouts, le grappin s'avance, s'ouvre, prend position au-dessus de la pile et se referme. Les arbres du tas sont enlevés par leurs gros

bouts et attirés vers l'essieu arrière du skidder. La capacité de charge maximum est inférieure à celle d'un skidder à câble de modèle équivalent, parce que l'appareil est plus lourd et la résistance au roulage plus grande. Quand les javelles sont petites et convenablement disposées le long de la piste, on peut en charger plusieurs à la fois, à condition que la puissance du skidder et la traction soient suffisantes. L'expérience montre que chaque javelle supplémentaire augmente d'une minute la durée du voyage aller et retour.

Les données du tableau 23 se rapportent à des skidders à grappin de 130 ch utilisés à des opérations de coupe rase dans l'est du Canada.

Quand on utilise des skidders à grappin, notamment pour débarder des arbres entiers, l'espacement optimal des routes d'alimentation est défavorablement influencé par la faiblesse relative de la charge utile et par le coût élevé d'achat et de fonctionnement du véhicule. Si, par exemple, un skidder à câble coûte 30 000 dollars E.-U., le skidder à grappin correspondant, qui pèse environ 2 tonnes de plus, coûtera 40 000 dollars E.-U., de sorte que les coûts de fonctionnement s'établiront respectivement à 12 dollars E.-U. et à 16 dollars E.-U. par PMH. Etant donné une réduction habituelle de charge de 50 pour cent et compte dûment tenu de la différence des temps d'opérations terminales, les coûts de débardage au mètre cube sont peu différents dans les deux types de machine. Le skidder à grappin possède un seul avantage: le conducteur n'a pas besoin de descendre de la machine et, par conséquent, il peut travailler par mauvais temps et peut-être même de nuit.

Dans les conditions qui prévalent normalement au Canada oriental, les rendements de skidders à câble et à grappin de 125 ch s'établissent respectivement autour de 35-45 m^3 et 45-55 m^3. On connaît cependant des cas où des propriétaires-exploitants intéressés au rendement obtiennent plus de 100 m^3 avec des skidders à grappin.

Débardeur à grappin au travail

TABLEAU 23

DONNEES COMPARATIVES SUR DEUX OPERATIONS DE DEBARDAGE PAR SKIDDER A GRAPPIN AU CANADA ORIENTAL

		Cas I	Cas II
A.	Type de produit	fûts entiers	arbres entiers
B.	Conditions générales		
	i) terrain: inégalité	normale	faible
	humidité	50% et plus	sec à 100%
	pente moyenne	+ 1,2 %	+ 0,6 %
	ii) volume/ha	200 m^3	320 m^3
	iii) volume moyen/arbre	0,14 m^3	0,25 m^3 (1)
	iv) volume moyen/charge	1,45 m^3	1,75 m^3 (1)
	v) nombre moyen de javelles/charge	1,3	1,0
C.	Vitesse moyenne de roulage en m/minutes		
	i) à vide	75	100
	ii) en charge	50	60
D.	Temps d'opérations terminales		
	i) manoeuvre et chargement	1 minute par javelle	
	ii) déchargement et mise en tas	1 minute par charge	
	iii) temps morts moyens	0,5 minute par charge	

Note: (1) Bois marchand

18. SKIDDERS A PINCES

18.1 Machines à roues

Ce sont des engins articulés à quatre ou six roues motrices qui portent la cabine et le moteur sur le châssis avant, une sellette à pinces sur le châssis arrière et une flèche articulée à grappin suspendu montée généralement sur colonne au voisinage du poids d'articulation. On s'en sert pour traîner du parterre de coupe à la route des lots groupés d'arbres ou de fûts entiers.

La charge utile, dans les conditions normales d'exploitation forestière, dépend de la puissance du moteur et de la pente du terrain. Les poids approximatifs des charges en kg par ch de puissance brute (GHP) sont indiqués aux tableaux 19 et 21, mais les valeurs peuvent être inférieures si, parce que les arbres sont trop courts, la sellette est entièrement garnie avant que la charge ait atteint son poids maximum. Le coefficient de résistance au roulage des modèles-types, dans des conditions d'exploitation normales, est estimé à 0,50; il tombe probablement à 0,40 dans beaucoup de plantations et de peuplements de pins, ce qui tendrait à accroître la charge utile, mais il est probablement plus élevé sur sol mou.

Comme dans le cas de toutes les machines qui manoeuvrent hors route, il faut corriger les temps productifs de base par arbre ou par m^3 pour tenir compte de facteurs tels que le terrain, le climat, l'ardeur au travail du conducteur, etc. (voir section 11.2). Toutefois, l'influence du terrain, par exemple, est moindre que pour certaines autres.

Le temps de production au m^3 augmente (ou, inversement, le rendement par unité de temps diminue) si des arbres restés sur pied se rencontrent sur la trajectoire de chargement, si le groupage est mal fait ou si le tas est mal placé par rapport à la piste de débardage. Pour obtenir les meilleurs résultats, il faut grouper soigneusement les arbres et les disposer près de la piste, à angle aigu par rapport à celle-ci, les gros bouts en avant. Plus on s'écarte de ces conditions idéales, plus la majoration de temps sera importante.

Les vitesses moyennes aller et retour entre la route et le lieu de chargement sont de l'ordre de 60 m/minute, à 10 pour cent près. Le fait a une influence importante sur la détermination de l'espacement optimal des routes d'alimentation.

Le temps de déchargement avoisine 1 minute par opération, étant donné que la machine se dégage de dessous le chargement, une fois qu'on a débloqué les pinces.

18.1.1. Débardage de fûts entiers

La charge utile en kg/ch des skidders employés pour le débardage de fûts entiers dans des conditions d'exploitation normales ressort du tableau 19 et peut être convertie en m^3/ch si l'on connaît le poids du bois récolté. Donc, si un skidder à pinces de 160 ch débarde des fûts entiers de 900 kg/m^3, la charge théorique, sur sol plat, sera:

$$\frac{160 \times 80}{900} = 14 \text{ m}^3$$

Le temps productif de base de 0,8 minute/m^3 pour le chargement de fûts entiers est celui d'une opération exécutée par un ouvrier expérimenté qui travaille sur un terrain plat et bien dégagé en s'approvisionnant à des tas réguliers placés à proximité de la piste et à angle aigu par rapport à celle-ci. L'expérience montre qu'il faut corriger de + 25 pour cent le temps productif de base quand les tas sont placés perpendiculairement à la piste et que la correction totale pour cause de facteurs défavorables peut atteindre et même dépasser 50 pour cent.

Le temps de production au mètre cube ne devrait pas être influencé de façon notable par la densité des peuplements, la dimension des tas ou par la petitesse des arbres, étant donné qu'on peut en charger plusieurs à la fois.

La production, en m^3/PMH, peut être estimée par la formule suivante:

$$PCBSM = \frac{60 \times L}{L \times 0{,}8(1 + \sum TA) + \frac{2\ ASD}{ATS(1 - TAT)} + 1}$$

où:

PCBSM = production estimée en m^3/PMH;

TA = facteur de correction à appliquer au temps productif de base de 0,8 minute/m^3 (voir sections 11.2 et 14);

TAT = facteurs de terrain (voir section 11.2);

ASD = distance moyenne de débardage en m (voir annexe D);

ATS = vitesse moyenne de roulage en m/minute (voir section 18.1 ci-dessus);

L = charge utile théorique en m^3

$= \frac{X \cdot GHP}{W}$

où:

X = poids de la charge en kg/ch, d'après tableau 19;

GHP = puissance brute du skidder;

W = poids du bois sous écorce en kg/m^3.

Le coût du débardage de fûts entiers à l'aide de skidders à pinces est donné par la formule:

$$CBSCM = \frac{C + c(1 + f)}{PCBSM}$$

où:

CBSCM = coût du débardage en dollars E.-U. par m^3;

C = coût, en dollars E.-U./PMH, du fonctionnement du skidder, non compris le coût du conducteur;

c = salaire du conducteur en dollars E.-U./PMH;

t = coût des avantages marginaux en pourcentage du salaire;

PCBSM = production du skidder en m^3/PMH.

18.1.2 Débardage d'arbres entiers

Le tableau 21 donne la valeur théorique de la charge utile en kg/ch dans le cas du débardage d'arbres entiers. Le chiffre peut être converti en m^3 de bois marchand par ch comme il est dit dans la note (2) du tableau.

Logiquement, le temps productif de base par arbre, dans le cas du débardage d'arbres entiers, devrait être supérieur, probablement de 25 pour cent, au temps de débardage de fûts entiers. Si l'on considère également que la quantité de bois marchand livrée en bordure de route est plus faible de 35 pour cent quand la débardeuse est chargée d'arbres entiers, le temps productif de base se situera aux environs de 1,50 minute au m^3. Ce temps de base par m^3 doit être corrigé pour tenir compte des mêmes facteurs que dans le cas du débardage de fûts entiers.

La production, en m^3/PMH de bois marchand, peut être estimée à l'aide de la formule de base déjà utilisée pour les fûts entiers:

$$PCBSM = \frac{60 \times L}{L \times 1{,}5(1 + \sum TA) + \frac{2ASD}{ATS\ (1 - TAT)} + 1}$$

où:

PCBSM = production estimée de bois marchand en m^3/PMH;

TA = facteurs de correction à appliquer;

TAT = facteur de terrain;

ASD = distance moyenne de débardage en m (voir annexe D);

ATS = vitesse moyenne de roulage en m/minute;

L = charge théorique en m^3 de bois marchand

$$= \frac{X\ .\ GHP\ .\ 0{,}70}{W}$$

où:

X = poids de la charge en kg/ch, d'après le tableau 21;

0,70 = pourcentage de bois marchand contenu dans l'arbre entier;

GHP = puissance brute du skidder;

W = poids du bois sous écorce en kg/m^3.

Le coût de débardage d'arbres entiers par skidders à pinces est alors donné par la formule:

$$CBSCM = \frac{C + c(1 + f)}{PCBSM}$$

où:

CBSCM = coût du débardage en dollars E.-U. par m^3 de bois marchand;

C = coût de fonctionnement du skidder (non compris le coût du conducteur) en dollars E.-U./PMH;

c = salaire du conducteur en dollars E.-U./PMH;

f = coût des avantages marginaux en pourcentage du salaire;

PCBSM = production en m^3/PMH de bois marchand.

En comparant le débardage de fûts entiers et le débardage d'arbres entiers par skidder à pinces, on voit que la production en m^3 de bois marchand/PMH est inférieure d'environ 45 pour cent et le coût au m^3 supérieur d'environ 75 pour cent.

En outre, il faut considérer ce qui suit:

i) difficulté de dégager les arbres les uns des autres et d'évacuer les branches et les cimes qui s'accumulent en bordure de route si on ne les transporte pas jusqu'à l'usine;

ii) l'influence sur l'espacement des routes d'alimentation: l'espacement optimal sera beaucoup plus réduit en cas de débardage d'arbres entiers, ce qui augmentera le coût du bois.

18.2 Machines chenillées

Elles ont un châssis chenillé équipé d'une sellette à pinces et d'une flèche articulée à commande hydraulique munie d'un grappin. On s'en sert pour débarder des arbres entiers préalablement groupés, gros bouts en avant, comme avec des machines articulées à roues, en chargeant un ou deux arbres à la fois. Grâce à la faible hauteur du châssis et à l'emplacement de la sellette (disposée à l'avant), le poids est beaucoup mieux distribué que dans un skidder à roues. Sur terrain assez mou, la vitesse de roulage varie entre 40 et 90 m/minute. Les performances sont meilleures sur les pentes et le véhicule est plus maniable qu'un skidder à roues dans les zones humides.

19. FELLER-SKIDDERS (ENGINS COMBINES D'ABATTAGE ET DE TRAINAGE)

La plupart des feller-skidders sont à l'origine des engins porteurs (forwarders) dont le grappin de chargement a été remplacé par une tête de coupe et le plateau de chargement par une sellette à pinces. Ils servent alors à traîner des arbres entiers comme de simples skidders, à cette différence que l'arbre, au lieu d'avoir été abattu par d'autres engins, a été coupé par le feller-skidder lui-même.

La machine va derrière la bande à exploiter, fait demi-tour et commence à travailler face au chantier de la route. Si elle est pourvue d'une tête de coupe à talon, elle peut suivre la ligne médiane du couloir, sinon elle doit suivre la lisière de la forêt, auquel cas elle travaille sur une largeur deux fois moindre qu'une abatteuse-groupeuse et sur une longueur deux fois plus grande. Le cycle d'abattage par arbre a la même durée qu'avec une abatteuse-groupeuse, c'est-à-dire de l'ordre de 20 secondes ou 0,33 minute. Toutefois, le temps de parcours est beaucoup plus grand à cause de la distance supplémentaire à couvrir, du frottement de la charge, de la durée et des difficultés des manoeuvres. Il faut compter en plus environ 0,12 minute par arbre, ce qui donne un temps de production de base de 0,45 minute par arbre. Toutefois, il faut appliquer à ce temps les pourcentages d'ajustement applicables à toutes les machines travaillant hors route (section 11.2) et aux abatteuses-groupeuses (section 14.1).

Les vitesses de déplacement entre le lieu de chargement et le chantier du bord de route dépendent de la charge brute de la machine, de la puissance du moteur et du terrain. La vitesse moyenne aller et retour est normalement de 60 m/minute à 10 pour cent près.

La vitesse moyenne de débardage au cours d'une opération dépend de l'espacement des routes d'alimentation (voir annexe D) et de la valeur estimée des facteurs de correction T et V.

Le déchargement est très simple: il suffit que le conducteur ouvre les pinces et dégage le véhicule de dessous la charge, ce qui demande en principe une minute.

Le rendement du feller-skidder, en m^3/PMH, peut être estimé par la formule ci-après quand on connaît la valeur des facteurs de production:

$$PFSM = \frac{60 \times L}{\frac{L \times 0{,}45\ (1 + \Sigma\ TA)}{} + \frac{2ASD}{ATS\ (1 - TAT)} + 1}$$

où:

PSFM = production du feller-skidder en m^3/PMH;

TA = pourcentages de correction, sous forme décimale, à appliquer aux temps productifs de base en minutes/arbre;

TAT = facteur de terrain (voir section 11.2);

VT = volume moyen par arbre en m^3;

ASD = distance moyenne de débardage en m (voir annexe D);

ATS = vitesse moyenne aller et retour en m/minute;

L = charge utile théorique en m^3;

$$= \frac{X\ .\ 0{,}70\ .\ GHP}{W}$$

où:

X = poids de la charge en kg/ch, d'après le tableau 21;

GHP = puissance brute du skidder en ch;

W = poids du bois sous écorce en kg/m^3.

Le coût de l'abattage et du débardage ressort alors de la formule:

$$FSCM = \frac{C + c(1 + f)}{PFSM}$$

où:

FSCM = coût de l'abattage et du débardage en dollars E.-U./m^3;

C = coût de fonctionnement du fedder-skidder en dollars E.-U./PMH (non compris le coût du conducteur);

c = salaire du conducteur, en dollars E.-U./PMH;

f = coût des avantages marginaux en pourcentage du salaire;

PFSM = production du feller-skidder en m^3/PMH.

20. FELLER-FORWARDERS (ENGINS COMBINES D'ABATTAGE ET DE PORTAGE)

Les feller-forwarders abattent et accumulent des arbres entiers, de même que les feller-skidders, mais sans laisser traîner sur le sol les arbres, qui reposent dans un berceau de chargement installé sur le châssis arrière. Ce sont nécessairement des engins articulés de grande dimension, assez puissants pour se déplacer hors route avec de lourdes charges, assez grands et assez spacieux pour pouvoir porter des arbres complets avec une bonne distribution du poids. La seule machine de ce type actuellement connue est fabriquée par Koehring Canada Ltd. Elle coûte 180 000 dollars E.-U. (en 1976), pèse 40 tonnes, a une charge utile de 23 tonnes et accepte des pentes de 30-35 pour cent. La cabine et la flèche

articulée montée sur colonne sont disposées à l'avant, tandis que le moteur est monté sur le châssis arrière, de même que le berceau qui bascule vers l'arrière. L'engin est équipé de quatre pneus de 43,5 x 39.

La flèche articulée porte une tête coupeuse multiple munie d'une cisaille de 60 cm et de pinces qui permettent d'abattre plusieurs petits arbres et de les maintenir groupés avant de les faire basculer et de les déposer dans le berceau du châssis arrière. Les avantages de cette grande capacité d'emmagasinage de la tête coupeuse apparaissent au tableau 24 établi d'après les résultats d'expériences effectuées pendant des périodes de rotation de 8 heures en moyenne avec la participation d'un conducteur expérimenté dans une forêt de feuillus où le volume moyen était de 0,22 m^3/arbre (branches et cime comprises). Les arbres entiers étaient réduits en plaquettes en bordure de route. Le terrain était accidenté, avec des pentes maximales de 25 pour cent et le peuplement était composé d'un petit nombre de très grands arbres et d'un grand nombre de petits arbres.

TABLEAU 24

CHARGEMENT D'UN FELLER-FORWARDER KOEHRING KFF

Arbres par cycle	Nombre de cycles	Minutes par cycle	Nombre d'arbres	Minutes par arbre	Minutes par chargement	m^3 par chargement
1	10	0,58	10	0,58		
2	14	0,67	28	0,34		
3	13	0,76	39	0,25		
4	5	0,85	20	0,21		
5	2	0,94	10	0,19		
Totaux partiels	44	0,71	107	0,29	31,0	23,6
Déplacements dans la bande exploitée	-	0,12	-	0,05	5,5	-
Totaux	44	0,83	107	0,34	36,5	23,6

Trois points se dégagent de la lecture du tableau 24:

i) il faut 0,09 minute de plus par arbre coupé et emmagasiné dans la tête coupeuse;

ii) une moyenne de 2,43 arbres est abattue par cycle;

iii) chaque cycle produit un volume moyen de 0,535 m^3.

Des expériences effectuées dans des forêts de résineux ont donné des chiffres de production de 2,5-3,7 arbres/minute, de 2,7 arbres/cycle et d'autres chiffres confirmant les avantages de la tête multiple. L'ensemble des données recueillies au cours d'une expérience fait apparaître une production de 22 m^3/PMH dans un peuplement où le volume moyen était de 0,177 m^3/arbre, pour une distance moyenne de débardage de 160 m.

Comparé aux engins de plus petites dimensions, le feller-forwarder Koehring se déplace lentement sur le sol forestier. Voici quelques chiffres (en m/minute) provenant de diverses sources:

A vide	En charge
27	23
57	42
37	24

On envisage actuellement d'augmenter la puissance du moteur pour améliorer la vitesse sur le terrain forestier.

Le déchargement est exécuté en une minute: il suffit de faire basculer le berceau vers l'arrière.

A l'heure actuelle (1976), il n'apparaît pas que l'usage de cette machine doive se répandre largement, en raison du coût d'équipement élevé et des inconvénients que présente le système de récolte par arbres entiers - à moins que les techniciens ne mettent au point un moyen satisfaisant d'utiliser les plaquettes d'arbres résineux entiers ou de séparer l'écorce du bois réduit en plaquettes ou à moins que l'on n'utilise les parties de l'arbre actuellement sans valeur marchande pour produire de l'énergie à des prix de revient rentables.

21. EBRANCHEUSES

On peut distinguer les machines qui ébranchent un seul arbre à la fois, le modèle le plus connu étant la Logma T-310, et les machines qui ébranchent plusieurs arbres à la fois, par exemple l'Hydro-AX.

21.1 L'ébrancheuse simple Logma T-310

L'ébrancheuse Logma a été mise au point en Suède. Elle est fabriquée et distribuée par Kockmus Industri AB. Elle est montée sur une base articulée à six roues de type courant, et actionnée par un moteur de 165 ch et pèse plus de 20 tonnes. Elle peut travailler sur le parterre de coupe ou en bordure de route. Elle est équipée d'une flèche télescopique ébrancheuse qui a une allonge de 7 m et une portée de 12 m.

La Logma est conçue pour ébrancher et étêter les arbres abattus ou disposés en tas dans des directions prédéterminées, en travaillant à partir du fin bout, et pour grouper des fûts entiers en alignant les gros bouts, de telle sorte qu'on puisse facilement les tronçonner sur place ou les haler jusqu'au bord de la route. L'ébranchage est rapide parce que l'ébrancheuse ne travaille pas sur toute la longueur du fût, mais uniquement sur la partie branchue. La machine peut traiter plus d'un arbre à la fois si elle a une prise suffisante. Elle travaille mal quand les arbres restés sur pied gênent le déplacement et la mise en tas des arbres ébranchés. On s'en sert presque toujours pour traiter des arbres récoltés par des abatteuses-groupeuses qui, pour bien fonctionner, doivent forcément abattre la plupart des arbres sans valeur marchande.

Une étude effectuée en 1970 en Suède (21) donne le temps total ci-après par arbre:

Diamètre moyen sur écorce (DBHOB) en cm	Volume d'arbres en m^3	Temps en minutes par arbre
15,5	0,09	0,58
17,6	0,16	0,60
24,8	0,48	0,70

Une étude effectuée ultérieurement au Canada oriental (22) sur des épicéas et des pins de Banks récoltés à l'aide d'abatteuses-groupeuses sur des terrains plats ou ondulés parsemés d'affleurements rocheux et de dépressions marécageuses,où l'on a observé le travail d'un conducteur expérimenté (4 mois),donne la formule ci-après pour l'estimation du temps productif par arbre:

$$HTT = 0,27 + \frac{227}{TH} + 0,35\ VT$$

où:

HTT = temps total en minutes/arbres pour ébrancher un arbre présentant des conditions de houppier moyennes;

TH = nombre d'arbres marchands par ha;

VT = volume moyen des arbres en m^3.

Compte tenu du degré de compétence du conducteur et des conditions de terrain, il apparaît que le temps productif de base en minutes/arbre devrait se situer autour de:

$$0,80\ (0,27 + \frac{227}{TH} + 0,35\ VT)$$

Il faudrait appliquer à ce temps les pourcentages de correction (TA) décrits dans les sections 11.2 et 14.1, de sorte que le temps productif ajusté serait:

$$0{,}80\ (0{,}27 + \frac{227}{TH} + 0{,}35\ VT)\ (1 + \sum TA)$$

La formule tient déjà compte du nombre d'arbres à l'hectare et du volume moyen des arbres.

Au Canada oriental, la Logma T-310 a été utilisée en bordure de route dans plusieurs opérations intégrées (bois de sciage et bois à pâte) effectuées pour le compte d'une usine qui voulait des livraisons de fûts entiers. Dans ces conditions, la production, avec des arbres de dimensions identiques, était supérieure d'environ 40 pour cent à celle qu'on obtient en travaillant sur le parterre de coupe. Néanmoins, une partie de l'économie réalisée sur les coûts d'ébranchage est contrebalancée par les dépenses supplémentaires qu'entraînent le débardage d'arbres entiers et l'évacuation des déchets produits en bordure de route ou au chantier.

21.2 L'ébrancheuse multiple Hydro-AX

L'Hydro-AX, fabriquée par la National Hydro-AX Inc., Owatonna (Etats-Unis) vient, à une date récente (1976), de trouver de larges applications dans les zones tempérées d'Amérique du Nord pour l'ébranchage des résineux. Cette ébrancheuse multiple équipée d'un fléau à chaînes est le plus souvent utilisée en bordure de route, mais peut aussi travailler sur le parterre de coupe. Toutefois, elle n'écime par les arbres. Si cette opération est nécessaire, on l'effectue le plus souvent à la scie mécanique. En outre, elle n'assure pas un ébranchage très net, mais cet inconvénient n'est pas rédhibitoire si le bois doit être flotté ou bien s'il est écorcé au tambour, notamment lorsqu'il est destiné à une usine de pâte kraft.

La machine a un châssis type skidder de 117 ch articulé et monté sur pneus. L'ébrancheuse à commande hydraulique est montée à l'avant. La pièce maîtresse est un tambour de 2,75 m de long et de 0,45 m de diamètre auquel sont attachées, en rangs décalés, 26 chaînes de 56 cm de long et 4 chaînes de 30 cm (ces dernières aux extrémités du tambour). Le tambour est à demi couvert par un carter de protection. Il est entraîné par une motopompe hydrostatique à une vitesse constante déterminée, quelle que soit la vitesse du véhicule.

La machine travaille en bordure de route et traite des arbres entiers rassemblés ou empilés sur une faible épaisseur. Pendant que le fléau à chaînes travaille, la machine se déplace depuis les fins bouts des arbres jusqu'aux gros bouts, jusqu'au point où il n'y a plus de branches à soulever et accomplit ensuite le parcours inverse à reculons pendant que le fléau continue à travailler pour parfaire l'ébranchage.

On a donné plusieurs estimations du rendement de cette machine travaillant en bordure de route: production égale à celle de 12 skidders pour des distances de débardage déterminées, rendement supérieur à 100 m^3 par heure productive, et production égale à environ 500 m^3 par jour. En fait, le seul facteur limitant est l'approvisionnement en arbres disposés de façon optimale.

Les opérations d'ébranchage et d'écimage à la scie mécanique en bordure de route provoquent l'accumulation habituelle de débris dont l'enlèvement est coûteux. Si l'on ébranchait des arbres abattus et groupés sur le parterre de coupe, on laisserait les branches et les cônes de résineux sur le sol forestier (comme le demandent les sylviculteurs), on réduirait les coûts de débardage (au moins en théorie) et on réduirait également le coût de nettoyage du chantier, mais ces avantages seraient peut-être contrebalancés par une usure accélérée de la machine, qui accroîtrait son coût de fonctionnement. On n'a pas fini d'étudier le pour et le contre.

On continue également à étudier le dessin optimal des chaînes de fléau, les matériaux à utiliser dans leur fabrication et la vitesse optimale de révolution du tambour. On a expérimenté des vitesses de 250 à 500 ou 600 t/mn. Le coût de remplacement des chaînes usées pose également un problème important. Dans les premiers essais, il fallait remplacer un jeu de chaînes (coût: 400 dollars E.-U.) chaque fois qu'on avait traité 1 200 m^3 de bois, mais on est parvenu à réduire considérablement ce coût depuis lors. Une grande compagnie d'exploitation du Canada oriental déclare qu'elle a ébranché pendant la campagne 1975-76 plus de 400 000 m^3 de bois à un coût total d'environ 0,35 dollar E.-U./m^3.

Il y a deux modèles sur le marché: une petite unité à moteur indépendant qui peut être installée à l'avant d'un skidder, et le modèle de plus grande dimension dont on a parlé ci-dessus, qui coûte environ 60 000 dollars E.-U. Aucun des deux modèles ne taille correctement les branches dont le diamètre est supérieur à 6 ou 8 cm.

22. EBRANCHEUSES-TRONÇONNEUSES

Plusieurs machines de ce genre, habituellement appelées "processors", ont un châssis articulé, six roues et des pneus caoutchouc. Elles sont donc capables de travailler sur le parterre de coupe. Il existe un autre modèle à châssis rigide et à roues, qui travaille en bordure de route. Tous les modèles sont conçus pour l'ébranchage et le tronçonnage d'un seul arbre à la fois, et la plupart d'entre eux sont également capables de mettre en tas les grumes.

22.1 Ebrancheuses-tronçonneuses travaillant sur parterre de coupe

Ces machines travaillent sur le parterre de coupe dans le cadre d'un système de récolte de bois courts. Il existe trois types de conception et de fabrication suédoise: la Kockum, la Volvo et l'Ösa 705. Les deux premières sont équipées d'une flèche d'alimentation télescopique, la troisième d'une flèche articulée. A part cela, l'aspect général, les méthodes de travail et la capacité de production sont très comparables. En théorie, ces machines peuvent traiter des arbres abattus à la main (et c'est une des raisons pour lesquelles certaines sont équipées d'une flèche télescopique à longue portée). Dans la pratique, on s'en sert presque toujours pour traiter des arbres récoltés par les abatteuses-groupeuses mécaniques.

En service, ces machines suivent la piste de l'abatteuse-groupeuse et travaillent sur terrain plat, en montée ou en descente, perpendiculairement au sens de marche si les arbres groupés ont été convenablement disposés. La machine saisit le gros bout des arbres et le dépose dans les cylindres d'entraînement de l'ébrancheuse. Les cylindres se mettent à tourner et les couteaux, montés ou non sur ceintures, commencent le débranchage tandis que la scie circulaire assure le tronçonnage. Le tronçonnage est à commande manuelle, en général, quand on traite des grumes de sciage, et à commande automatique quand on traite des bois de trituration, plus courts. Les grumes de sciage sont éjectées et tombent au sol, le bois de trituration est généralement recueilli dans un cadre que l'on vide après l'avoir rempli. Les deux types de bois sont prêts alors à être débardés. Ces machines peuvent ébrancher des arbres ayant un diamètre maximum d'environ 60 cm au gros bout.

Dans la production des bois à pâte, le temps de base par arbre peut être exprimé selon la formule:

i) PDBT = 0,24 + 0,05 NB pour des grumes de 2,5 m (27) et

ii) PDBT = 0,24 + 0,06 NB pour des grumes de 3 m,

où:

PDBT = temps de base de l'ébranchage et du tronçonnage en minutes/arbre;

NB = nombre moyen de grues de trituration par arbre.

A ce temps, il faut appliquer un facteur de 0,90 quand on ne produit que des grumes de sciage (de plus grandes dimensions) et 0,95 quand on produit un mélange de grumes de sciage et de grumes de trituration plus courtes (2,5 - 3 m).

Au temps productif de base par arbre, il faut appliquer les facteurs décrits dans la section 11.2, de sorte que l'on peut estimer la production en m^3/PMH par la formule habituelle:

$$PDBM - \frac{60 \times VT}{PDBT\ (1 - \sum TA)}$$

où:

PDBM = production de l'ébrancheuse-tronçonneuse en m^3/PMH;

VT = volume moyen des arbres en m^3;

PDBT = temps productif de base exprimé en minutes/arbre (voir paragraphe précédent);

TA = facteurs d'ajustement du temps, exprimés sous forme décimale, d'après la section 11.2.

On trouve ensuite le coût de l'ébranchage et du tronçonnage en appliquant la formule:

$$DBCM = \frac{C + c\ (1 + f)}{PDBM}$$

où:

DBCM = coût d'ébranchage et de tronçonnage en dollars E.-U./m^3;

C = coût de fonctionnement de l'ébrancheuse-tronçonneuse en dollars E.-U./PMH, calculé comme il est indiqué à la section 3.3.4;

c = salaire du machiniste en dollars E.-U./PMH;

f = coût des avantages marginaux en pourcentage du salaire;

PDBM = rendement de l'ébrancheuse-tronçonneuse en m^3/PMH.

L'ébranchage peut être retardé si les arbres présentent des branches de plus de 7-8 cm, le machiniste devant alors arrêter, faire tourner en arrière et remettre en marche les cylindres d'entraînement pour pouvoir sectionner le rameau, ou bien si des branches, des cimes et des débris s'entremêlent dans la tête de l'ébrancheuse.

22.2 Ebrancheuses-tronçonneuses travaillant en bordure de route

Les processors décrits précédemment peuvent être également utilisés en bordure de route. Le rendement serait légèrement meilleur, parce que les conditions de travail sont plus favorables, mais les avantages éventuels seraient plus que contrebalancés par le coût du débardage d'arbres entiers jusqu'en bordure de route et par le coût du nettoyage des débris accumulés sur le chantier.

22.2.1 Ebrancheuse-tronçonneuse Hahn

Le processor Hahn est une petite machine conçue uniquement pour le travail en bordure de route. Il est monté sur deux essieux, dont un essieu moteur qui sert à manoeuvrer la machine au cours de l'opération. Les arbres à traiter sont disposés sur un chantier d'environ 75 m x 75 m au niveau de la route ou à un autre emplacement voisin de la route et dans une direction parallèle à celle-ci. La machine fait face aux gros bouts des arbres. La flèche articulée dépose le gros bout d'un arbre,ou les gros bouts de plusieurs arbres si ceux-ci sont de petites dimensions, dans les mâchoires de l'ébrancheuse de 45 cm qui est montée sur un petit chariot à l'avant de la machine. Les mâchoires se referment sur l'arbre et l'attirent, le long d'une glissière de 2,5 m, vers une cisaille à guillotine installée près du centre de la machine, qui le maintient en position tandis que la tête coupeuse fait retour à sa position initiale, en sectionnant les branches au cours de son déplacement. On répète l'opération, on actionne la cisaille au moment voulu, la grume sectionnée tombe sur le sol à côté de la machine et ainsi de suite jusqu'à ce que l'arbre soit entièrement ébranché et tronçonné. La machine produit des grumes de trituration et aussi des grumes de sciage.

En traitant un arbre à la fois, la machine a un rendement d'environ 1 arbre/minute dans un peuplement où le volume moyen est de 0,14 m^3/arbre. Dans des opérations d'exploitation, une batterie de 4 processors, en travail à deux postes, a produit 50 000 m^3 de bois de 2,5 m en 6 600 PMH à la cadence moyenne de 7,6 m^3/PMH, dans un peuplement où le volume moyen était de 0,12 m^3/arbre. Une étude détaillée montre que 2 700 arbres ont été traités en 1 530 cycles, c'est-à-dire à la cadence de 1,76 arbre/cycle, la durée du cycle étant de 1,1 minute et le temps par arbre de 0,63 minute.

Le coût de la machine étant de l'ordre de 65 000 dollars E.-U., le coût du traitement se situerait donc aux environs de 2 dollars E.-U. par m^3, sans compter le coût du machiniste et le coût d'évacuation des branches, cimes et débris produits sur le chantier (environ 0,40 dollar E.-U. par m^3).

Le processor Hahn est une ébrancheuse-tronçonneuse relativement simple. Le conducteur apprend à la manoeuvrer efficacement en peu de semaines. Cette machine est bien adaptée aux petites opérations forestières.

22.2.2 Le processor Arbomatik

Cette machine est conçue uniquement pour le travail en bordure de route. Elle ne peut traiter qu'un arbre à la fois. Elle a une flèche télescopique, un dispositif d'alimentation continue par cylindres à pointes se déplaçant à raison de 55 m/minute et une cisaille pour le tronçonnage. Elle traite des arbres entiers entassés perpendiculairement à la route sur laquelle la machine stationne pendant le traitement. Dans un peuplement où le volume moyen est de 0,14 m^3/arbre, on a observé une production effective de 19 m^3/PMH et on a calculé que le rendement potentiel serait d'environ 20 pour cent plus élevé.

Le constructeur, Forano Ltd., a cessé la production de cet appareil.

23. ABATTEUSES-EBRANCHEUSES

On trouve sur le marché nord-américain plusieurs modèles d'abatteuses-ébrancheuses destinées à produire des fûts entiers sur parterre de coupe. D'autres sont à l'étude. Certains engins, par exemple le Drott et le Poclain, sont montés sur un châssis chenillé. D'autres, comme le Timberjack TJ-30 et TJ-40, le John Deere X-12TL et le Tanguay, sont montés sur des bases articulées à pneus de caoutchouc.

23.1 Abatteuses-ébrancheuses chenillées

Ces machines sont au fond des abatteuses-groupeuses dont le mécanisme de coupe est complété par des cylindres d'alimentation et des lames ébrancheuses. L'organe de coupe et d'ébranchage pèse dans les 1 500 à 2 500 kg selon le constructeur, et ces poids requièrent évidemment des engins porteurs particulièrement robustes.

La machine travaille généralement à la lisière de la forêt, dégageant un couloir de 5 à 11 m de large, selon le modèle et selon la technique du conducteur. L'arbre est couché, soulevé verticalement, amené au-dessus d'un emplacement dégagé commode pour le traitement, déposé et abandonné dans une position horizontale plus ou moins parallèle à la machine. Les couteaux de l'ébrancheuse se referment et les cylindres d'alimentation se mettent en marche. L'arbre est attiré dans l'ébrancheuse, écimé automatiquement à un diamètre prédéterminé et rejeté sur le sol. Les phases de l'opération sont consécutives et, pour procéder à un nouvel abattage, il faut attendre que le premier arbre ait été ébranché. La manière dont les fûts produits sont groupés ne permet pas toujours le débardage par skidder à grappin, mais les fûts peuvent en tous cas être halés par des skidders à câble ou à pinces.

Le rendement des abatteuses-ébrancheuses chenillées est très variable, selon la dimension des arbres, le terrain, l'habileté et l'ardeur au travail du conducteur. Des études de temps montrent que le temps de base est d'environ 0,65 minute/arbre dans un peuplement où le volume moyen est de 0,05 m^3/arbre, qu'il augmente de 0,05 minute/arbre quand le volume moyen par arbre augmente de 0,05 m^3. Cet effet est dû au poids aussi bien qu'à la longueur des grands arbres. Le temps productif de base est le temps par arbre d'un ouvrier expérimenté travaillant sur terrain plat et propre dans un peuplement de résineux bien dégagé où le volume moyen est de 0,05 m^3/arbre et qui contient 1 200 arbres par hectare ou davantage. Comme dans le cas des autres machines travaillant hors route, il faut appliquer à ce temps de base les facteurs de correction décrits dans les sections 11.2 et 14.1. Après avoir déterminé le temps productif corrigé par arbre, on peut calculer le rendement et le coût en appliquant les formules de base relatives aux abatteuses-groupeuses qui figurent dans la section 14.1

L'ébranchage est d'excellente qualité, mais le système présente certains défauts. Les ébrancheuses ne sont pas toujours équipées d'une étêteuse. La machine ne parvient pas toujours à aligner les gros bouts des fûts entiers produits, sinon avec difficulté et au prix d'une dépense de temps supplémentaire. Le rendement, en m^3/PMH, est très influencé par le volume des arbres, comme c'est toujours le cas pour les processors qui traitent un seul arbre à la fois. La largeur de la bande exploitée est inférieure à celle des abatteuses-groupeuses de type correspondant, à cause du poids supplémentaire du mécanisme d'ébranchage monté à l'extrémité de la flèche. L'emploi de ces types d'abatteuses-ébrancheuses ne tend pas à se répandre.

23.2 Abatteuses-ébrancheuses à roues

La plupart de ces machines comportent une flèche d'abattage articulée, un mécanisme d'ébranchage à convoyeur ou flèche télescopique équipé de lames coupantes et, dans la plupart des cas, d'un berceau basculant pouvant loger des fûts entiers. Aucun modèle n'est entièrement au point à l'heure actuelle. Le plus avancé est le Timberjack TJ-30, qui ne convient pas pour le traitement des arbres de gros diamètre ou de grande longueur. Toutefois, étant donné que, dans l'est de l'Amérique du Nord, on s'intéresse beaucoup, à l'heure actuelle (1976), à la récolte de fûts entiers pour diverses raisons qui ont été mentionnées ailleurs, plusieurs constructeurs cherchent à produire des modèles dont l'étude est plus ou moins avancée. La situation est toute différente en Suède, par exemple, où l'on récolte surtout des bois courts et où 80 pour cent de la matière première est traitée mécaniquement sur le parterre de coupe.

Clark Equipment, John Deere, Forano et Tanguay étudient actuellement des abatteuses-ébrancheuses sans avoir dépassé le stade du prototype ou de la production préliminaire (1976). Eaton Yale (Timberjack) met au point le TJ-40, version agrandie de TJ-30. Koehring Canada est allé plus loin et s'apprête actuellement à produire une véritable récolteuse de fûts entiers (assurant à la fois l'abattage, l'ébranchage et le débardage porté). Il s'agit d'un très grand engin dont la charge utile est de 18 tonnes (voir section 25). Les machines John Deere et Forano sont montées sur un châssis type skidder de grandes dimensions. Les machines Clark et Tanguay sont encore plus grandes et plus lourdes. Dans la machine Forano, l'ébrancheuse est incorporée au mécanisme d'abattage comme dans les abatteuses-ébrancheuses chenillées. Sur certains modèles, les fûts entiers sont accumulés dans un berceau. Dans d'autres modèles, chaque arbre est rejeté au sol après traitement.

Le temps productif de base en minutes/arbres est indiqué ci-après pour certains modèles, d'après les résultats expérimentaux. Le temps productif de base peut être défini comme dans la section 23.1 ci-dessus. Il faut appliquer au temps de base les ajustements décrits dans les sections 11.2 et 14.1, étant donné que ces machines travaillent hors route. Après avoir déterminé le temps productif ajusté en minutes/arbre, on peut estimer la production en m^3/PMH et le coût en dollars E.-U./m^3 en appliquant les formules habituelles (voir section 14.1).

23.2.1 Le Timberjack TJ-30

Le prototype de cette machine, conçu en Australie, est destiné aux travaux d'éclaircie des plantations en lignes. A partir de ce prototype, Eaton Yale Ltd. a mis au point le TJ-30 pour le travail en forêt naturelle. L'engin, qui pèse un peu plus de 13 tonnes, est monté sur le châssis type skidder du Timberjack 330 de 94 ch. Il peut abattre et traiter des arbres de petits diamètres. La capacité maximum de la tête de coupe correspond à des arbres d'environ 30 cm de diamètre au gros bout.

L'arbre est attrapé par une flèche articulée "inversée" de faible longueur (3,6 m), bloqué par des pinces, coupé, soulevé, ramené au-dessus de la machine, et déposé dans l'ébrancheuse sur une flèche télescopique horizontale, toujours maintenu par les pinces de l'abatteuse. Il est ensuite automatiquement ébranché, étêté et éjecté latéralement dans un berceau supportant une charge de 2 250 kg, qui, une fois rempli, bascule sur le côté. La flèche de l'abatteuse peut alors attraper un autre arbre. La course maximum de l'ébrancheuse est de 10 m, ce qui limite la longueur maximale du bois marchand que l'on peut traiter sans reprendre l'arbre au moyen de la flèche et des pinces de l'abatteuse. Chaque reprise augmente d'environ 2,5 m la longueur de fût qui peut être ébranchée mais accroît le temps de récolte par arbre d'environ 20 pour cent. La largeur normale de la bande exploitée est d'environ 5 m.

On a constaté que le temps productif de base était de l'ordre de 0,65 minute/arbre dans un peuplement où le volume moyen était de 0,05 m^3/arbre. Le temps de base s'accroît de 0,05 minute quand le volume augmente de 0,05 m^3 et ce temps supplémentaire doit être ajouté au temps de base, le cas échéant.

En abaissant l'arbre vers l'ébrancheuse du TJ-30, il faut prendre des précautions pour éviter des chocs qui pourraient écraser les superstructures.

23.2.2 L'abatteuse-ébrancheuse Tanguay

Cette machine, d'un poids de 50 tonnes, est actionnée par un moteur de 230 ch. Elle a six roues, un essieu unique en tête, des pneus de 33,25 x 35 et des chenilles. Elle travaille en se déplaçant à reculons.

La flèche articulée de l'abatteuse a une portée de 7,5 m et une cisaille de 45 cm. L'ébrancheuse à convoyeur s'étend en avant de la machine (c'est-à-dire en arrière quand celle-ci est en position de travail) et comporte quatre cylindres d'entraînement et trois couteaux. On fait basculer l'arbre abattu vers l'arrière de la machine (c'est-à-dire l'avant en position de travail), on le met en position horizontale et on le dépose à l'entrée de l'ébrancheuse. L'ébranchage et l'étêtage sont automatiques. L'arbre ébranché défile sur le transporteur et est éjecté à gauche ou à droite de la machine. Pendant l'ébranchage, le machiniste abat un nouvel arbre. La machine ne peut pas se déplacer et récolter en même temps.

D'après les expériences, le temps productif de base par arbre serait de 0,47 mn/arbre. Il faut appliquer à ce temps de base les corrections habituelles (voir sections 11.2 et 14.1).

24. ABATTEUSES-EBRANCHEUSES-TRONÇONNEUSES

Ces machines abattent les arbres et produisent des bois courts sur le parterre de coupe. Elles ne sont pas considérées comme des récolteuses véritables parce qu'elles ne transportent pas le bois ébranché jusqu'au bord de la route. Comme les abatteuses-ébrancheuses, elles sont parfois chenillées, parfois montées sur un châssis articulé à pneus de caoutchouc.

24.1 Abatteuses-ébrancheuses-tronçonneuses chenillées

Ces machines sont des abatteuses-ébrancheuses complétées par un mécanisme de tronçonnage incorporé aux organes d'abattage et d'ébranchage. Quand l'arbre entraîné par les cylindres d'alimentation passe à travers les lames de l'ébrancheuse, il est arrêté à un certain point par un butoir, les cisailles tronçonneuses (en fait, celles de l'abatteuse) se mettent à fonctionner, la grume est sectionnée et rejetée au sol.

Les expériences ont montré que la capacité productive de ce type de machine était inférieure d'environ 25 pour cent à celle des abatteuses-ébrancheuses correspondantes, de sorte que l'on peut calculer le rendement en m^3/PMH en prenant un temps productif de base de 0,85 minute/arbre et en appliquant la formule habituelle, y compris les corrections de temps indiquées dans les sections 11.2 et 14.1:

$$PFDBM = \frac{60 \times VT}{0,85\ (1 + \sum TA)}$$

Ces "processors" chenillés présentent les mêmes défauts que les abatteuses-ébrancheuses correspondantes. La tête pèse de 2 à 2,5 tonnes, ce qui surcharge lourdement l'extrémité d'une flèche articulée à laquelle on demande d'abattre et de traiter des arbres entiers. Comme dans le cas des abatteuses-ébrancheuses chenillées, on ne pense pas que l'emploi de ces machines doive se répandre.

24.2 Abatteuses-ébrancheuses-tronçonneuses à roues

Ces machines sont surtout de conception et de fabrication suédoises: Kockum, Volvo et Ösa. Ce sont essentiellement des abatteuses-tronçonneuses dont le grappin d'alimentation a été remplacé par une tête coupeuse de faible poids qui peut également traîner l'arbre abattu et l'introduire dans le mécanisme d'ébranchage. La machine est incapable de soulever l'arbre et de le maintenir en position verticale comme une abatteuse-groupeuse.

Dans la pratique, le rendement de ces machines varie peu d'un modèle à l'autre et ne diffère guère ou pas du tout de celui des ébrancheuses-tronçonneuses correspondantes. Il faut que la machine atteigne l'arbre, l'abatte et le ramène à l'ébrancheuse dans un temps à peu près équivalent à celui du traitement. Les expériences montrent que, sur les ébrancheuses-tronçonneuses, il arrive que l'alimentation retarde de quelques secondes le traitement, ou inversement. On ne pense pas que le temps d'attente doive être plus grand quand on remplace

la flèche d'alimentation par une flèche d'abattage. Les formules de rendement et de coût indiquées dans la section 22.1 sont donc également applicables aux abatteuses-ébrancheuses-tronçonneuses.

25. ABATTEUSES-EBRANCHEUSES-PORTEUSES

Ces machines sont des récolteuses de fûts entiers puisqu'elles abattent, ébranchent, accumulent et débardent des fûts entiers en bordure de route. Elles sont nécessairement de très grandes dimensions. Koehring Canada Ltd. expérimente actuellement (1976) sur le terrain un prototype de 210 000 dollars E.-U. Cette machine de 45 tonnes a une charge utile de 18 tonnes, ce qui donne un poids brut total de 63 tonnes. C'est un engin articulé à quatre roues. La cabine et la flèche montée sur colonne sont installées sur le châssis avant. Le moteur, le berceau, le rail et le chariot du mécanisme d'ébranchage reposent sur le châssis arrière. Les quatre roues sont à commande hydrostatique et équipées de pneus 43,5 x 39. La flèche articulée porte une tête de coupe multiple de 60 cm, qui peut accumuler plusieurs petits arbres dans ses pinces en attendant le passage à l'ébrancheuse.

L'ébrancheuse à commande manuelle (et non pas automatique) peut traiter plusieurs arbres à la fois, mais jusqu'à présent (1976) elle est incapable de les étêter.

L'abatteuse coupe un arbre - ou plusieurs, s'ils sont de petites dimensions - le ramène vers l'arrière, le dépose sur le chariot de l'ébrancheuse, le maintient pendant que les lames ébranchent l'arbre à une vitesse de 3 m/seconde et dépose le fût sur le berceau de chargement.

Abatteuse-ébrancheuse-forwarder chargeant les arbres abattus sur un chariot sur rail

On ne possède pas de ventilation détaillée des temps unitaires de production, mais au cours des essais sur le terrain, dans un peuplement où le volume moyen était de 0,14 m^3 par arbre, 115 m^3 ont été livrés au bord de la route en huit heures de travail. Un test a donné une cadence de production de 124 arbres/PMH, soit une moyenne de 2,7 arbres par cycle d'une durée de 1,3 minute.

26. DEBARDAGE PAR ENGIN PORTEUR

26.1 Généralités

Dans ce mode de débardage, le bois transporté du parterre de coupe au bord de la route ne touche pas le sol. A charge égale, l'effort de traction et la résistance au roulage sont plus élevés qu'avec des skidders, mais le frottement de la charge est nul.

Le débardage par engin porteur, en tant qu'opération distincte, joue un rôle essentiel dans le système de récolte des bois courts (sauf si l'on emploie des "harvesters" qui débardent leur propre production). On peut débarder aussi par engin porteur des fûts entiers et des arbres entiers, mais il est peu probable que ce mode de débardage devienne courant pour les arbres entiers dans l'état actuel des techniques industrielles. Si les arbres sont ébranchés mécaniquement sur le parterre de coupe, il est logique de les tronçonner en même temps pour obtenir des bois courts. Il n'y a pas de raison de recourir à des engins porteurs pour débarder des arbres entiers préalablement abattus par d'autres engins, à moins qu'on ne veuille livrer des arbres entiers à l'usine ou faire des plaquettes d'arbres entiers en bordure de route.

26.2 Débardage des bois courts par portage

Pour débarder les bois courts sans les traîner, on peut recourir à l'homme, aux animaux ou aux machines. Le chargement et le déchargement peuvent être effectués par des procédés manuels ou mécaniques et le bois peut être empilé au bord de la route ou transbordé immédiatement sur un autre véhicule pour éviter le coût de manipulations ultérieures.

Forwarder articulé pour petit bois

Le débardage (portage) est longuement étudié dans le chapitre 8 du Manuel de la FAO intitulé "Harvesting Man-Made Forests in Developing Countries" (2). Le manuel décrit différents modes de débardage porté: traction humaine ou animale, emploi de skidders modifiés, de petits chenillards, de tracteurs agricoles et de tracteurs non articulés à quatre roues motrices tirant des remorques, ou de machines spéciales autochargeuses à train de roues motrices, appelées forwarders, dont certaines portent une charge de 16 tonnes de bois courts. L'ouvrage décrit longuement les divers éléments des opérations mécaniques de débardage porté et présente une formule détaillée d'estimation du rendement et des coûts.

26.2.1 Forwarders autochargeurs pour le débardage des bois courts

Si l'on veut calculer rapidement la valeur approximative du rendement et des coûts, on peut employer la méthode ci-après. Il faut connaître:

1) la densité du peuplement en m^3/ha;
2) la longueur des grumes en m;
3) la charge utile du forwarder en m^3;
4) la surface ou le diamètre minimal du grappin (voir tableau 25);
5) le coût d'achat du forwarder en dollars E.-U.;
6) la largeur moyenne de la bande exploitée en m.

Pour obtenir la production en m^3/PMH, on procédera comme suit:

1) trouver la capacité du grappin (GC) au tableau 25;
2) connaissant la densité du peuplement et la largeur de la bande, trouver la longueur, en mètres, de la bande (SL) par m^3 de charge du forwarder (tableau 26);
3) supposer la charge moyenne du grappin égale à 0,70 GC en cas de chargement et 0,90 GC en cas de déchargement;
4) supposer le temps moyen d'un cycle d'opération du grappin égal à 0,50 minute;
5) supposer la vitesse moyenne de déplacement du forwarder sur terrain plat et dégagé égale à 40 m/minute (ATSS) au cours du chargement dans la bande exploitée et à 60 m/minute (ATS) sur la piste entre le lieu de travail et le bord de la route;
6) trouver l'espacement optimal des routes d'alimentation en appliquant la formule habituelle (annexe D.1) et la distance moyenne de débardage (annexe D.3) ou mesurer la distance sur le terrain;
7) estimer la valeur des corrections de temps (TA) à appliquer pour tenir compte des conditions de terrain, du climat, de l'expérience du conducteur, de son habileté, de son ardeur au travail et des interruptions de travail pour motifs personnels (10 pour cent), d'après la section 11,2;
8) appliquer la formule:

$$PFM = \frac{60\ L}{\left(\frac{0{,}50\ L}{0{,}70GC} + \frac{L \times SL}{ATSS}\right)(1 + \sum TA) + \frac{2\ AFD}{ATS\ (1 - TAT)} + \frac{0{,}50\ L}{0{,}90GC}(1 + TAP)}$$

où:

PFM = production en m^3/PMH;

L = charge utile du forwarder en m^3;

GC = capacité du grappin en m^3;

SL = longueur de la bande par m^3 de charge utile;

ATSS = 40 m/mn = vitesse moyenne de déplacement au cours du chargement dans les conditions optinales;

AFD = distance moyenne de débardage en m;

ATS = 60 m/mn = vitesse moyenne de déplacement entre le lieu de travail et le bord de la route;

TA = ajustement à appliquer au temps productif de base;

TAT = facteurs de terrain (section 11.2);

TAP = facteurs personnels (section 11.2).

On trouvera le coût du débardage en appliquant la formule:

$$FCM = \frac{C + c\ (1 + f)}{PFM}$$

où:

FCM = coût du débardage en dollars E.-U./m^3;

c = salaire du conducteur en dollars E.-U./PMH;

f = coût des avantages marginaux en pourcentage du salaire;

PFM = rendement du débardage en m^3/PMH;

C = $\frac{2,4\ A}{LE}$ = coût, en dollars E.-U./PMH, du fonctionnement du forwarder, non compris le coût du conducteur;

équation dans laquelle:

A = coût d'achat du forwarder en dollars E.-U.

LE = durée probable de l'engin en PMH, d'après section 3.3.3.

26.3 Débardage porté de fûts entiers

Les fûts entiers sont généralement traînés jusqu'au bord de la route par des skidders. Néanmoins, on met au point au Canada oriental depuis 1970 un prototype de forwarder pour le débardage des fûts entiers (2). Le Dungarvon Tree-Toter a un châssis rotatif (40°), une garde au sol de 90 cm, 4 roues motrices et des pneus à barrettes de 38,5 x 35. La machine pèse environ 28 tonnes à vide et est capable de porter 26 à 28 tonnes. Le prix d'achat était estimé à 150 000 dollars E.-U. au début de 1976, c'est-à-dire à 5,35 dollars E.-U. par kg. L'engin est actionné par un moteur de 318 ch et est pourvu d'une transmission à six rapports de vitesse échelonnés entre 0,6 et 35 km/heure à 2 250 tours/minute. Le rapport poids/puissance brute est 170.

On voulait mettre au point un véhicule capable de transporter jusqu'à 28 m^3 de fûts entiers à des vitesses relativement élevées sur tout terrain, sur des distances de plusieurs kilomètres, de manière à pouvoir se passer de routes d'alimentation coûteuses. Le forwarder est strictement porteur: pour l'alimenter en bois groupés, il faut amener un chargeur sur le parterre de coupe. Dans des essais sur le terrain, on a constaté que la cadence de chargement par grappin hydraulique spécial était de 2,26 m^3/minute. Le déchargement par dispositif hydraulique de basculage latéral prenait en moyenne 3 minutes. La vitesse moyenne du voyage aller et retour était de 187 m/minute.

La compagnie poursuit la mise au point du forwarder. Il est probable qu'on le dotera d'un chargeur incorporé.

TABLEAU 25

CAPACITE CALCULEE (1), EN M^3, DE GRAPPINS DE DIMENSIONS DIVERSES
(1 m^3 = 1,67 m^3t) (2)

Grappin refermé		Longueur des grumes en mètres					
Superficie en m^2	Diamètre intérieur en cm	1 F(3) = 0,67	2 F = 0,64	3 F = 0,61	4 F = 0,58	5 F = 0,55	6 F = 0,52
0,20	50	0,14	0,26	0,37	0,47	0,55	0,63
0,25	56	0,17	0,32	0,46	0,58	0,69	0,78
0,30	62	0,20	0,38	0,55	0,70	0,83	0,94
0,35	67	0,23	0,45	0,64	0,81	0,96	1,09
0,40	71	0,27	0,51	0,73	0,93	1,10	1,25
0,45	76	0,30	0,58	0,82	1,04	1,24	1,40
0,50	80	0,34	0,64	0,92	1,16	1,37	1,56
0,55	84	0,37	0,70	1,01	1,28	1,51	1,71
0,60	87	0,40	0,77	1,10	1,39	1,65	1,87

Notes: (1) capacité du grappin = superficie en m^2 x longueur des grumes en m x facteur F (rapport entre le volume de bois sous écorce et le volume empilé de bois non écorcé)

(2) m^3t = volume empilé

(3) la valeur du facteur F varie légèrement selon la longueur de la grume, parce que les grumes longues ne se laissent pas aussi étroitement grouper.

TABLEAU 26

LARGEUR DE LA BANDE EXPLOITEE PAR M^3 DE CHARGE DU FORWARDER

q = volume par hectare en m^3	SW = largeur de la bande en mètres		
	10	15	20
20	50	33	25
30	33	22	17
40	25	17	12
50	20	13	10
60	17	11	8
70	14	10	7
80	12	8	6
90	11	7,5	5,5
100	10	6,5	5
120	8	5,5	4
150	6,5	4,5	3,5
200	6	3,5	2,5

27. RECOLTEUSES DE BOIS COURTS

Les récolteuses de bois courts sont des machines qui abattent, ébranchent, tronçonnent et étêtent les arbres sur le parterre de coupe, transportent le bois traité jusqu'au bord de la route et le transbordent sur un camion ou une remorque ou l'entassent sur place. Le Shortwood Harvester Koehring KH3D qui produit des bois de 2,5 m est la seule machine capable d'exécuter tous ces travaux à la fois. Elle a été conçue spécialement pour les conditions d'exploitation régnant dans l'est du Canada. La longueur est de 10 m, la largeur de 4,6 m. Le poids est d'environ 43 tonnes à vide et la charge utile est de l'ordre de 14 tonnes, c'est-à-dire environ 15 m^3 de bois des essences résineuses les plus courantes au Canada oriental. Les pneus de 37,5 x 39 donnent une garde au sol de 86 cm et l'engin passe des pentes de 40 pour cent quand on l'équipe de chaînes. Le prix de la machine est actuellement (1976) d'environ 230 000 dollars E.-U. Il y en a actuellement environ 150 en service.

L'engin est articulé, la cabine, la flèche d'abattage articulée, le mât de transfert et la tourelle abritant les organes de traitement sont montés sur le châssis arrière, le moteur et le berceau de chargement sur le châssis arrière. La flèche est équipée d'une cisaille de 50 cm qui peut être modifiée pour happer plusieurs arbres à la fois. En extension complète (6 m), elle porte plus de 1 100 kg. Pendant l'ébranchage, la machine positionne les arbres à 35° de la verticale pour permettre aux branches de tomber directement sur le sol. Le diamètre des arbres peut aller jusqu'à 40 cm. Le moteur développe 210 ch, ce qui donne en charge un rapport poids/puissance brute de 210, qui est faible pour un travail sur terrain difficile.

La machine est manoeuvrée par un seul ouvrier. Sous sa direction, la flèche cisaille l'arbre, le soulève et le maintient en position verticale, le fait basculer et l'introduit latéralement dans des pinces placées près du sommet de la tourelle où est logée l'ébrancheuse. Dès que les pinces se referment, le conducteur attaque un autre arbre, tandis que l'ébranchage et l'emmagasinage se poursuivent automatiquement. La tête de coupe de l'ébrancheuse remonte l'arbre sur une longueur de 2,5 m, en coupant les rameaux à mesure qu'elle se déplace, tandis que la tourelle prend une position inclinée. La première grume est sectionnée et éjectée en direction de deux rouleaux coniques qui la propulsent dans une glissière située au-dessous du berceau de chargement. La grume est soulevée ensuite par pression hydraulique et insérée dans le berceau. Le traitement se poursuit jusqu'à ce que la machine parvienne à un point où le fin bout de l'arbre atteint un diamètre préétabli. A ce moment, la tronçonneuse cisaille la cime et la laisse retomber au sol, tandis que la tourelle reprend une position verticale (par rapport à la machine), prête à recevoir l'arbre suivant. Il faut six secondes pour traiter une grume de 2,5 m.

Après avoir traité une charge, la machine retourne au bord de la route, où le conducteur utilise le mât de transfert à grappin pour empiler le bois sur place ou pour le déposer sur un camion ou une remorque. Les vitesses de déplacement varient beaucoup suivant le terrain. D'après les expériences, les vitesses à vide et en charge sur sols forestiers plats et résistants avoisinent respectivement 65 m et 50 m/minute. Elles tombent respectivement à 30 m et 20 m/minute sur sols mous où la machine s'enfonce de 15 à 60 cm. Les remontées, notamment en charge, sont également lentes, parce que le rapport poids/puissance est élevé.

Le déchargement prend une minute par cycle. A l'aide d'un grappin capable de manier un minimum de 1,5 m^3 de grumes de 2,5 m de long, on forme des tas de bois réguliers faciles à mesurer à des fins fiscales. Il faut faire pivoter les charges alternativement de 180°, de manière à inverser le sens des gros bouts. Le temps de 1 minute est deux fois supérieur au temps qu'il faut à des forwarders pour charger des camions ou des remorques avec un grappin d'une capacité de 25 pour cent inférieure. Le transbordement sur remorque serait probablement un peu plus rapide.

Sur un terrain où le harvester peut se maintenir à l'horizontale, on obtient d'assez bons résultats en utilisant la tête de coupe multiple et en traitant simultanément deux ou plusieurs arbres. On n'a de problème qu'avec la bande transporteuse et les dispositifs hydrauliques d'emmagasinage.

Machine d'exploitation polyvalente traitant les arbres à la souche et les transportant en bord de route

TABLEAU 27 (1)

RAPPORT APPROXIMATIF ENTRE LE DBHOB, LE VOLUME MARCHAND ET LE NOMBRE DE GRUMES DE 2,5 m PAR ARBRE

DBHOB en cm	Volume de bois marchand en m^3	Nombre moyen de grumes de 2,5 m/arbre
10	0,026	1,6
12,5	0,057	2,6
15	0,102	3,6
17,5	0,161	4,4
20	0,232	5,1
22,5	0,315	5,7
25	0,41	6,2
27,5	0,51	6,7
30	0,63	7,1
32,5	0,75	7,4
35	0,88	7,7
37,5	1,03	7,9
40	1,19	8,0

Note: (1) à utiliser seulement si l'on ne dispose pas d'autres données régionales.

Le rendement du harvester dépend surtout du volume des arbres. Quand on récolte des arbres qui ont moins de 15 ou 16 cm de diamètre à hauteur de poitrine, le traitement est parfois plus lent que l'alimentation. Si les arbres sont de grandes dimensions, c'est l'inverse qui est parfois vrai. Toutefois, si le conducteur est habile, ce n'est généralement pas le cas et c'est le mécanisme de traitement qui détermine la cadence de production. Celle-ci est influencée aussi par l'espacement des arbres (nombre de pieds marchands à l'hectare), par le terrain et par l'expérience, l'habileté et l'ardeur au travail du conducteur. Le tableau 27 montre le rapport approximatif entre le diamètre sur écorce (DBHOB), le volume de bois marchand et le nombre de grumes de 2,5 m par arbre.

Le rendement du harvester en m^3/PMH peut alors être exprimé par la formule ci-après, si les arbres sont récoltés un à un:

$$PHM = \frac{60 \times L}{\frac{L(0{,}25 + 0{,}10\ NL + 0{,}10x + 0{,}20y)\ (1 + \sum TA)}{VT} + \frac{2\ AFD}{ATS\ (1 - TAT)} + UL\ (1 - TAP)}$$

où:

PHM = production en m^3/PMH;

L = charge utile moyenne en m^3;

NL = nombre moyen de grumes par arbre;

x = pourcentage d'arbres commercialisables du peuplement qui ont entre 12 et 14 cm de diamètre à hauteur de poitrine;

y = pourcentage d'arbres commercialisables du peuplement qui ont moins de 12 cm de diamètre à hauteur de poitrine;

VT = volume moyen d'arbres marchands en m^3;

TA = corrections à appliquer en temps de traitement de base par arbre (sections 11.2 et 14);

AFD = distance moyenne de débardage en m;

ATS = vitesse moyenne de voyage aller et retour en m/minute;

TAT = facteur de terrain (section 11.2);

UL = temps de déchargement en minutes par charge;

TAP = facteurs humains individuels (facteurs de base, degré de formation, habileté, motivation)

On trouve ensuite le coût de récolte en dollars E.-U./m^3 en appliquant la formule:

$$HCM = \frac{C + c\ (1 + f)}{PHM}$$

où:

HCM = coût de récolte en dollars E.-U./m^3;

C = coût de fonctionnement du harvester, non compris le coût du conducteur, en dollars E.-U./PMH;

c = salaire du conducteur en dollars E.-U./PMH;

f = coût des avantages marginaux en pourcentage du salaire;

PHM = rendement du harvester en m^3/PMH.

28. REDUCTION EN PLAQUETTES AU BORD DE LA ROUTE

Dans de nombreuses régions de l'Amérique du Nord, les usines à pâte utilisent pour la fabrication de la pâte un certain pourcentage de plaquettes d'arbres entiers (généralement des feuillus) produits en bordure de route par des unités mobiles. Ces installations sont généralement montées sur des semi-remorques, elles ont de 8 à 12 m de longueur et pèsent de 10 à 30 tonnes. Elles comprennent essentiellement un convoyeur équipé de cylindres d'entraînement à pression, des coupeuses à deux ou trois couteaux actionnées respectivement par des moteurs de 375-400 ch, une flèche articulée à grappin qui alimente le convoyeur et un tube pneumatique qui souffle les plaquettes dans un camion ou autre véhicule. Les disques des coupeuses peuvent avoir 1,7 m de diamètre.

Pour faire marcher la machine, il suffit d'un ouvrier aidé, le cas échéant, par un bûcheron qui se déplace à pied pour éliminer, à l'aide d'une scie mécanique, les grosses excroissances qui pourraient gêner la mise en plaquettes. Le rendement varie selon les essences, la dimension des arbres et la saison de l'année. Les observateurs ont noté que des coupeuses à deux couteaux donnaient 20 à 40 tonnes de plaquettes vertes par PMH et 150 tonnes par poste de travail en hiver ou 200 tonnes en été.

La réduction en plaquettes au bord de la route peut être introduite dans les trois principaux systèmes d'exploitation forestière, mais en général on traite de cette manière des arbres feuillus entiers. La plupart des usines n'utilisent guère les plaquettes d'arbres résineux entiers, parce que jusqu'à présent les techniciens n'ont pas trouvé un procédé peu coûteux pour séparer l'écorce des plaquettes. Pour alimenter les coupeuses travaillant en bordure de route, on recourt normalement aux abatteuses-groupeuses, aux skidders à grappin ou au fellers-skidders.

Toutefois, il vaudrait mieux employer des forwarders pour éviter de traîner les arbres entre le parterre de coupe et l'installation pour la réduction en plaquettes. Si on traîne le bois, il se couvre de sable et de boue. Ces corps étrangers accélèrent l'usure des coupeuses, augmentent les frais d'entretien et réduisent progressivement la qualité des plaquettes. Dans des conditions difficiles (résultant du débardage par skidder), il faut changer les lames de coupe et les affûter après une heure de travail, opération qui elle-même demande 30 minutes.

La réduction en plaquettes d'arbres entiers offre les avantages ci-après:

a) on extrait de la forêt, par unité de surface, un volume beaucoup plus important de fibres ligneuses (40 pour cent à 100 pour cent, selon les cas), ce qui réduit d'autant les transports jusqu'à l'usine;

b) la productivité par journée d'ouvrier augmente - par deux, dans certains cas;

c) le prix de revient de la fibre livrée à l'usine diminue;

d) l'opération laisse des parterres de coupe plus propres, qui se prêtent mieux à régénération naturelle ou artificielle.

D'autre part, il y a certains inconvénients:

a) l'écorce a une influence négative sur les cadences de production industrielle et sur l'aspect des produits;

b) elle pose aussi des problèmes de criblage et, dans certains cas, il faut recouper les branchettes et les plaquettes hors norme.

Le rendement du harvester dépend surtout du volume des arbres. Quand on récolte des arbres qui ont moins de 15 ou 16 cm de diamètre à hauteur de poitrine, le traitement est parfois plus lent que l'alimentation. Si les arbres sont de grandes dimensions, c'est l'inverse qui est parfois vrai. Toutefois, si le conducteur est habile, ce n'est généralement pas le cas et c'est le mécanisme de traitement qui détermine la cadence de production. Celle-ci est influencée aussi par l'espacement des arbres (nombre de pieds marchands à l'hectare), par le terrain et par l'expérience, l'habileté et l'ardeur au travail du conducteur. Le tableau 27 montre le rapport approximatif entre le diamètre sur écorce (DBHOB), le volume de bois marchand et le nombre de grumes de 2,5 m par arbre.

Le rendement du harvester en m^3/PMH peut alors être exprimé par la formule ci-après, si les arbres sont récoltés un à un:

$$PHM = \frac{60 \times L}{\frac{L(0{,}25 + 0{,}10\ NL + 0{,}10x + 0{,}20y)\ (1 + \sum TA)}{VT} + \frac{2\ AFD}{ATS\ (1 - TAT)} + UL\ (1 - TAP)}$$

où:

PHM = production en m^3/PMH;

L = charge utile moyenne en m^3;

NL = nombre moyen de grumes par arbre;

x = pourcentage d'arbres commercialisables du peuplement qui ont entre 12 et 14 cm de diamètre à hauteur de poitrine;

y = pourcentage d'arbres commercialisables du peuplement qui ont moins de 12 cm de diamètre à hauteur de poitrine;

VT = volume moyen d'arbres marchands en m^3;

TA = corrections à appliquer en temps de traitement de base par arbre (sections 11.2 et 14);

AFD = distance moyenne de débardage en m;

ATS = vitesse moyenne de voyage aller et retour en m/minute;

TAT = facteur de terrain (section 11.2);

UL = temps de déchargement en minutes par charge;

TAP = facteurs humains individuels (facteurs de base, degré de formation, habileté, motivation)

On trouve ensuite le coût de récolte en dollars E.-U./m^3 en appliquant la formule:

$$HCM = \frac{C + c\ (1 + f)}{PHM}$$

où:

HCM = coût de récolte en dollars E.-U./m^3;

C = coût de fonctionnement du harvester, non compris le coût du conducteur, en dollars E.-U./PMH;

c = salaire du conducteur en dollars E.-U./PMH;

f = coût des avantages marginaux en pourcentage du salaire;

PHM = rendement du harvester en m^3/PMH.

28. REDUCTION EN PLAQUETTES AU BORD DE LA ROUTE

Dans de nombreuses régions de l'Amérique du Nord, les usines à pâte utilisent pour la fabrication de la pâte un certain pourcentage de plaquettes d'arbres entiers (généralement des feuillus) produits en bordure de route par des unités mobiles. Ces installations sont généralement montées sur des semi-remorques, elles ont de 8 à 12 m de longueur et pèsent de 10 à 30 tonnes. Elles comprennent essentiellement un convoyeur équipé de cylindres d'entraînement à pression, des coupeuses à deux ou trois couteaux actionnées respectivement par des moteurs de 375-400 ch, une flèche articulée à grappin qui alimente le convoyeur et un tube pneumatique qui souffle les plaquettes dans un camion ou autre véhicule. Les disques des coupeuses peuvent avoir 1,7 m de diamètre.

Pour faire marcher la machine, il suffit d'un ouvrier aidé, le cas échéant, par un bûcheron qui se déplace à pied pour éliminer, à l'aide d'une scie mécanique, les grosses excroissances qui pourraient gêner la mise en plaquettes. Le rendement varie selon les essences, la dimension des arbres et la saison de l'année. Les observateurs ont noté que des coupeuses à deux couteaux donnaient 20 à 40 tonnes de plaquettes vertes par PMH et 150 tonnes par poste de travail en hiver ou 200 tonnes en été.

La réduction en plaquettes au bord de la route peut être introduite dans les trois principaux systèmes d'exploitation forestière, mais en général on traite de cette manière des arbres feuillus entiers. La plupart des usines n'utilisent guère les plaquettes d'arbres résineux entiers, parce que jusqu'à présent les techniciens n'ont pas trouvé un procédé peu coûteux pour séparer l'écorce des plaquettes. Pour alimenter les coupeuses travaillant en bordure de route, on recourt normalement aux abatteuses-groupeuses, aux skidders à grappin ou au fellers-skidders.

Toutefois, il vaudrait mieux employer des forwarders pour éviter de traîner les arbres entre le parterre de coupe et l'installation pour la réduction en plaquettes. Si on traîne le bois, il se couvre de sable et de boue. Ces corps étrangers accélèrent l'usure des coupeuses, augmentent les frais d'entretien et réduisent progressivement la qualité des plaquettes. Dans des conditions difficiles (résultant du débardage par skidder), il faut changer les lames de coupe et les affûter après une heure de travail, opération qui elle-même demande 30 minutes.

La réduction en plaquettes d'arbres entiers offre les avantages ci-après:

a) on extrait de la forêt, par unité de surface, un volume beaucoup plus important de fibres ligneuses (40 pour cent à 100 pour cent, selon les cas), ce qui réduit d'autant les transports jusqu'à l'usine;

b) la productivité par journée d'ouvrier augmente - par deux, dans certains cas;

c) le prix de revient de la fibre livrée à l'usine diminue;

d) l'opération laisse des parterres de coupe plus propres, qui se prêtent mieux à régénération naturelle ou artificielle.

D'autre part, il y a certains inconvénients:

a) l'écorce a une influence négative sur les cadences de production industrielle et sur l'aspect des produits;

b) elle pose aussi des problèmes de criblage et, dans certains cas, il faut recouper les branchettes et les plaquettes hors norme.

29. SLASHERS (TRONÇONNEUSES MOBILES)

29.1 Slashers canadiens

On appelle ici "slashers" des machines mobiles qui tronçonnent des fûts entiers pour produire des bois courts en bordure de route ou au chantier final. Ces machines font donc partie intégrante du système de récolte par fûts entiers. Dans les parties orientales de l'Amérique du Nord, on utilise de nombreux slashers pour produire des grumes de 1,22 m ou de multiples de cette dimension, jusqu'à un minimum de 5 m (Canada et nord des Etats-Unis) et des grumes de 1,6 m (reste des Etats-Unis). Toutes ces machines comportent essentiellement un convoyeur muni de cylindres rotatifs, une flèche articulée munie d'un grappin à talon qui alimente le convoyeur, deux ou trois scies ébouteuses à commande manuelle et, dans certains cas, une flèche articulée munie d'un grappin qui sert à manutentionner les bois courts. Ce sont nécessairement des engins longs et pesants, qui roulent sur pneus et qui, pour travailler, doivent reposer sur des béquilles installées du côté le plus chargé.

Pour alimenter ces machines, il faut disposer les fûts entiers perpendiculairement à la route, le gros bout tourné vers celle-ci. De cette manière, on réduit la distance du débardage et on améliore le rendement des skidders. Le chantier doit être débarrassé des arbres sur pied, mais il n'est pas nécessaire de l'aplanir au bulldozer. Les fûts sont déposés sur le terrain forestier, le slasher travaille sur la route.

Pour faire fonctionner un slasher qui produit des grumes de 2,45 m, il faut trois hommes, dont l'un manoeuvre la flèche et amène les fûts au convoyeur, le deuxième actionne le convoyeur et les scies, et le troisième extrait les grumes emmagasinées et les entasse sur le bord de la route. Chaque ouvrier travaille dans une cabine protégée des intempéries. En règle générale, le convoyeur et la tronçonneuse débitent plusieurs arbres à la fois, le nombre étant d'autant plus grand que les dimensions sont plus faibles.

Quand il s'agit de produire du bois de 1,22 m, on peut se passer du troisième ouvrier car les grumes sciées sont évacuées par un autre convoyeur plus court, jetées pêle-mêle dans les caisses d'un camion et transportées immédiatement au chantier final. Quand on tronçonne des fûts au bord d'une rivière ou sur un chantier d'hiver qui sera inondé par les crues de printemps, on se sert également d'un convoyeur pour évacuer le bois tronçonné et pour le jeter à la rivière ou le déposer pêle-mêle sur le sol.

En général, le rendement d'une équipe rémunérée à la journée se situe autour de 40-45 m^3/PMH, quelle que soit la longueur des grumes produites, à un prix de revient d'environ 1,10 dollar E.-U./m^3, lorsque le travail est effectué en bordure de route. Sur le chantier final, où les fûts sont plus hauts et où les déplacements sont moins nombreux, le rendement est de l'ordre de 50 à 55 m3/PMH et atteint parfois 70 m^3/PMH, à un coût sensiblement inférieur à 1 dollar E.-U. le m^3. On peut citer le cas d'un slasher mobile qui, dans l'est du Canada, a produit plus de 300 000 m^3 de bois courts durant la campagne 1975-76 sous la conduite d'une équipe intéressée au rendement.

Les machines de ce type coûtent environ 140 000-175 000 dollars E.-U., selon le constructeur et selon le fini de la construction. Elles sont conçues pour fournir au moins 15 000 heures de travail. On connaît des slashers qui ont été en service pendant plus de 30 000 heures.

29.2 Autres tronçonneuses et slashers

Divers autres types de tronçonneuses et de slashers à plus faible rendement sont utilisés dans différentes régions du monde, le plus souvent par des exploitants qui n'ont pas besoin de machines aussi efficaces que les engins décrits plus haut. Il existe toute une série de machines de ce genre en Amérique du Nord, et notamment aux Etats-Unis, souvent construites dans des ateliers locaux pour les besoins d'un système d'exploitation particulier.

Les slashers travaillant en bordure de route sont également utilisés en Suède (24), mais moins souvent qu'au Canada, parce que l'on récolte surtout des bois courts. Certaines de ces machines, par exemple la Logma et la Hällefors, sont installées sur des châssis de vieux camions. Elles servent à produire des grumes de 3 m ou bien à la fois des grumes de cette dimension et des grumes de sciage. Elles sont munies d'une seule flèche articulée à grappin qui, d'une part, alimente la scie et, d'autre part, évacue et entasse les grumes produites. Les Suédois ont également un slasher plus long et plus lourd, le Morenius (24), qui ressemble dans une certaine mesure aux slashers canadiens décrits précédemment. Il exige deux ouvriers, dont l'un manie la flèche articulée et l'autre les scies.

Il existe également des tronçonneuses, par exemple la machine Ösa 770 de 30 ch, qui sont équipées d'une scie à moteur hydraulique dans le grappin d'un chargeur à flèche articulée. Le chargeur saisit un ou plusieurs fûts près du gros bout, tronçonne la charge du grappin aux dimensions voulues, entasse cette charge à l'endroit désigné, ressaisit la partie restante du fût et répète l'opération jusqu'à ce que le tronçonnage soit complet.

30. SYSTEME DE TELEPHERAGE

Le téléphérage ou câblage est le halage des produits forestiers du parterre de coupe au bord de la route par un système à câble tracteur relevé (high lead) ou par un système à câble porteur, souvent appelé "câble-grue" (skyline). En général, le débardage au sol est plus économique que le téléphérage, quand on a le choix. Les facteurs qui limitent le débardage au sol sont la raideur des pentes (environ 60 pour cent), l'inégalité du terrain, le problème d'érosion en région montagneuse et la portance du sol en terrain plat.

Etant donné qu'au total le débardage au sol permet de réduire le coût du bois, on a assisté dans le monde entier à un développement de cette méthode au détriment du téléphérage. Cette tendance a été accentuée dans certains pays par la pénurie de main-d'oeuvre spécialisée et la répugnance des jeunes travailleurs à acquérir la longue formation nécessaire pour installer et faire fonctionner les systèmes de téléphérage, plus complexes que les systèmes de débardage au sol. L'apparition récente de nouveaux matériels et techniques de téléphérage, tels que les grues radiocommandées et les mâts mobiles, ont modifié quelque peu la rentabilité comparée des deux méthodes, mais dans une mesure insuffisante pour qu'un renversement de tendance devienne probable.

On peut classer les systèmes de téléphérage selon la distance:

a) courtes distances jusqu'à 700 m pour le transport primaire et la livraison directe des grumes à la route d'alimentation;

b) longues distances jusqu'à 1 500-2 000 m, avec possibilité de suppression de la route d'alimentation.

On peut mettre en place une installation permanente de téléphérage sur longues distances si une route se révèle peu rentable, parce que les coûts de construction sont élevés et parce que la densité des peuplements et la productivité des stations sont faibles dans la zone considérée.

On peut distinguer également deux systèmes de téléphérage, d'après le mode de halage

a) les systèmes à câble tracteur relevé,conçus pour une distance maximale de 300 m;

b) les systèmes à câble porteur,conçus pour les courtes distances jusqu'à 700 m et les longues distances jusqu'à 2 000 m.

Le tableau 9 indique brièvement les caractéristiques et les limitations pratiques de certains systèmes de téléphérage (longueur et charge utile) dans les zones tempérées. La figure 9 montre certains systèmes de téléphérage utilisés en Europe. On trouvera dans d'autres publications des détails sur de nombreux systèmes en usage sur ce continent et également au Japon et dans le nord-ouest de l'Amérique du Nord (1) (8).

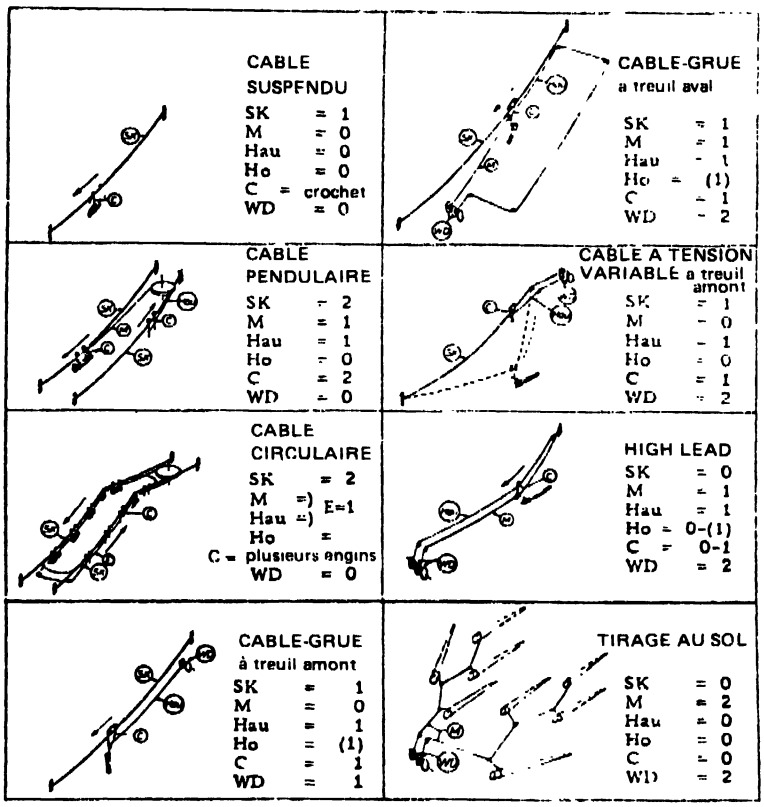
Equipement mobile de câble-grue pour l'extraction des grumes dans les opérations d'éclaircie

30.1 Quelques systèmes à câble tracteur relevé (High Lead)

Dans les systèmes "high lead", on se sert d'un mât de tête (et parfois d'un câble porteur) pour soulever l'extrémité avant de la grume af. de réduire l'effort de traînage et l'influence des obstacles. On décrira ici brièvement le système "high lead" et quelques systèmes à câble porteur qui s'en rapprochent.

Le "high lead" proprement dit, qui est le système de téléphérage le plus simple, est largement utilisé, principalement pour le halage d'aval en amont,quand les distances n'excèdent pas 300 m et quand on ne risque pas d'endommager les sols et de provoquer de l'érosion. Le système comprend un treuil ou yarder, avec deux tambours de débardage et un tambour annexe plus petit actionnant le filin de manoeuvre, un mât de tête (qui, de nos jours, est un appareil mobile), un câble principal et un câble de retour, des élingues et un chariot-palan.

Le système à câble-grue mobile (running skyline) est une sorte de système "high lead", en ce sens que les grumes ne sont pas nécessairement sans contact avec le sol. La distance d'utilisation est limitée à 700 m. L'installation comprend un mât de tête et le support de la poulie de retour, un treuil à trois tambours avec dispositif d'asservissement, plus un tambour de manoeuvre, trois câbles de même dimension (câble porteur mobile qui sert en même temps de câble de retour, câble principal et câble utilisé pour baisser ou remonter le dispositif d'accrochage) et un chariot qui se déplace sur le câble de retour et qui porte un câble d'accrochage et ses élingues. Le système offre des avantages parce qu'il n'exige pas un câble porteur de grand diamètre et parce que les tambours équipés d'un système d'asservissement à rapport de vitesse variable permettent de tendre ou de détendre la ligne à tout moment. La tension maximale de la ligne est prédéterminée en fonction de la charge et des profils de la pente. Le "running skyline" est évidemment préférable au "high lead" à plusieurs égards: espacement plus large des routes d'alimentation, moins de dommages causés au sol, possibilités de traînage latéral, etc.



SK = câble porteur
M = câble principal
Hau = câble de retour
Ho = câble de hissage
C - engin porteur
WD = tambour de treuil

Figure 9 Schémas de quelques systèmes de téléphérage.

Une société forestière sud-américaine exploitant une région où le sol est trop mou pour porter des engins de débardage, utilise une variante d'un autre système, le "North Bend System" pour tirer par câble des bois de 1,5 m préalablement bottelés sur des distances pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres. Le rendement du système dépend de la distance de câblage et du temps passé aux points terminaux pour accrocher et décrocher les charges. Pour des distances de 100, 500 et 1000 m, les rendements étaient respectivement de l'ordre de 10, 5,5 et 3,5 m^3/heure. La charge est en moyenne de 0,85 m^3.

30.2 Quelques systèmes à câble porteur fixe

Il existe plusieurs systèmes à câble porteur fixe qui déplacent leurs charges au-dessus du sol. Plusieurs sont des variantes du système Tyler mis au point dans le nord-ouest de l'Amérique du Nord. Certains sont radiocommandés. Parmi ces derniers, le plus connu est sans doute le système norvégien de câbre-grue radiocommandé qui combine dans une opération unique l'abattage et le transport primaire.

L'installation comprend un générateur mobile, un câble porteur fixe, un chariot, un câble tracteur sans fin et un tambour de treuil rainuré autour duquel le câble sans fin s'enroule plusieurs fois. La distance de débardage est limitée à 700 m. L'ouvrier qui travaille en amont abat, ébranche, étête et élingue les arbres, attache les élingues au câble du chariot et met celui-ci en marche en actionnant le treuil radiocommandé. En aval, l'ouvrier chargé de tronçonner les grues décroche la charge, renvoie le chariot au bûcheron et achève le traitement du bois. Dans des conditions moyennes, le rendement journalier des deux hommes travaillant en équipe se situe autour de 16 m^3.

Dans une région de l'Amérique du Sud, on applique une variante du système Tyler dans des zones où le terrain est plat et peu résistant pour câbler jusqu'à une route camionnable, après un premier débardage, des bois de 1,5 m groupés en lots d'environ 1,13 m^3. L'installation comprend des mâts d'amont et d'aval, un treuil à deux tambours, un câble porteur fixe, un câble principal, un chariot et un câble tracteur sans fin enroulé plusieurs fois autour de son tambour. La distance atteint parfois, mais rarement, 1 000 m. Le rendement moyen du système varie selon la distance de halage et le temps passé aux points terminaux. Par exemple, le rendement moyen sur des distances de 100, 500 et 1 000 m s'établit respectivement à 9,5, 6,1 et 4,2 m^3/heure.

30. Espacement optimal des câbles-grues à longue distance

Sur certains terrains très accidentés et en forte pente,où la construction des routes n'est pas rentable, on peut pratiquer le téléphérage sur de longues distances et organiser au sol un tirage latéral pour amener le bois du parterre de coupe au câble-grue. Un grand problème consiste à déterminer l'espacement optimal du système dans une vaste zone forestière où plusieurs déplacements de l'installation peuvent être nécessaires. En théorie, on devrait pouvoir appliquer les principes qui régissent l'espacement optimal des routes d'alimentation lors de l'emploi de telle ou telle méthode de débardage au sol (voir annexe D).

Le coût d'investissement des équipements fixes du câble-grue (mâts et câble porteur), diminué de leur valeur de récupération en fin d'exercice, le coût de dégagement des emprises et le coût d'installation, d'entretien et de démontage des équipements fixes peuvent être assimilés aux coûts de construction et d'entretien d'une route d'alimentation; les pièces travaillantes de l'installation (treuil, câble mobile et chariot) peuvent être assimilées aux engins de débardage au sol, et on peut calculer le coût de fonctionnement par PMH, qui englobe le coût de la main-d'oeuvre (à l'exclusion du personnel qui effectue le tirage latéral) et celui de l'amortissement des intérêts, du carburant, des réparations, etc. Les charges transportées sur les lignes latérales et sur la ligne principale sont identiques, ainsi que le volume de bois à récolter par hectare; le temps nécessaire au tirage latéral (en mn/m), soit t (1 + p) selon la formule de l'espacement optimal des routes d'alimentation, devrait être connu par expérience, la valeur de p approchant ou dépassant peut-être 2, de manière à tenir compte de l'angle de tirage sur des pentes raides, ainsi que des temps morts.

L'application pratique de la formule peut être difficile ou peut aboutir à une distance de tirage latéral inacceptable, étant donné que le coût du câble-grue est fixe et ne peut être modifié par le directeur de l'exploitation comme peuvent l'être les normes d'une route d'alimentation.

Un principe fondamental veut que le coût global d'exploitation par mètre cube soit minimum quand les trois coûts - le coût de la route, les coûts variables de débardage (déplacements) et les coûts variables du transport secondaire (déplacements), tous exprimés sous forme de coût au m^3, sont identiques (voir annexe I). Cela suppose notamment que l'on peut, dans une certaine mesure, choisir le montant des dépenses que l'on consacre à la route. Quand ce principe n'est pas suivi, on peut encore limiter le coût global au minimum possible si les frais variables de débardage et les frais variables de transport secondaire au m^3 sont égaux. Dans le cas des câbles-grues, cela se produira quand les éléments variables du coût de tirage latéral et du coût de transport aérien sont égaux. Etant donné que ces opérations sont assurées par le même équipement, les coûts de fonctionnement par PMH ou PMM sont identiques, de même que les charges utiles. Il en résulte que l'espacement optimum des câbles-grues peut être déterminé en rendant ces deux coûts identiques ou plus simplement encore en rendant identiques les temps de déplacement, de manière à aboutir à la formule ci-après.

$$ASD.t\ (1 + p) = AHD.T$$

de sorte que

$$OCCS = 4.ASD - \frac{4.AHD.T}{t(1 + p)}$$

équation dans laquelle:

OCCS = espacement optimal des câbles-grues en m;

ASD = distance moyenne de halage sur la ligne principale, pondérée en fonction de l'emplacement du bois à récolter;

t = temps moyen en minutes/m pour tirer le crochet jusqu'à l'emplacement des grumes et pour ramener le chargement (on peut considérer la descente et la remontée du crochet comme des temps fixes et ne pas en tenir compte);

T = temps moyen de déplacement à vide et en charge, en minutes/m pour chaque débardage;

p = facteur tenant compte de l'angle de tirage sur les pentes raides et des temps morts dans la zone de chargement (voir paragraphe 2 de la section 30.3 ci-dessus).

31. TRANSPORT SECONDAIRE

31.1 Généralités

Le transport secondaire va du bord de la route forestière au chantier final (bord de rivière, quai de gare, usine). On ne parlera ici que du transport par camion, en négligeant le flottage et le transport par barge ou par chemin de fer. On inclut dans le transport secondaire le chargement en bordure de route et le déchargement à destination.

Il existe deux principes de chargeurs (à flèche articulée ou à chargement frontal), plusieurs grands types de matériel de transport et de nombreuses méthodes de déchargement. On les étudiera brièvement en signalant les points essentiels.

Le choix de l'engin optimum depend de la forme des matériaux à transporter, des caractéristiques de la route, des vitesses de déplacement souhaitées et des dispositions réglementaires en matière de gabarit et de poids des véhicules. En outre, il faut retenir que, dans certaines circonstances, les ensembles tracteurs-remorques sont beaucoup plus économiques que les camions ordinaires (voir 31.2).

31.2 Transport

31.2.1 Types de véhicules

Par camion ordinaire, on entend généralement un véhicule automobile à la fois moteur et porteur. Dans les ensembles tracteurs-remorques, le nombre des remorques est variable. S'il y en a plusieurs, on parle de train routier.

La figure 10 montre divers ensemble de tracteurs-remorques. En outre, il existe:

a) des trains de deux semi-remorques dans lesquels le pivot d'accrochage de la semi-remorque arrière s'appuie sur le boggie arrière de la première semi-remorque;

b) des camions à double essieu avant dont l'un peut être moteur;

c) des camions à châssis articulé au centre avec boggies avant et arrière, qui sont actuellement mis au point au Canada par la Rubber Railway Company de Cambridge, Ontario;

d) la remorque à essieu dirigeable fabriquée par Kockum en Suède.

Il existe aussi des engins de transport spéciaux à roues surdimensionnées et à pneus basse pression qui peuvent rouler sur des routes d'alimentation très médiocres et même aller au-delà des chantiers primaires tout en étant capables d'atteindre des vitesses suffisantes pour pouvoir accomplir économiquement de longs parcours sur les routes forestières. C'est l'exemple du transporteur articulé Volvo BM 860 TC.

Chacun des deux ensembles-types (tracteur-semi-remorque et tracteur-remorque) présente des inconvénients et des avantages. L'ensemble tracteur-semi-remorque est indispensable si l'on veut transporter des fûts entiers ou des arbres entiers. Il manoeuvre plus aisément sur les petits chantiers des routes d'alimentation. Il est plus stable aux grandes vitesses, la semi-remorque tendant moins à se mettre en travers du camion. Le tracteur à deux semi-remorques est également stable, mais il n'est pas préférable au tracteur à remorque, quand il s'agit de manoeuvrer ou de transporter des fûts entiers.

En charge, il est plus facile de reporter une grande partie du poids total de l'ensemble sur les essieux-moteurs lorsqu'on utilise un ensemble tracteur-remorque. Mais, à vide, pendant le retour au chantier, le transport peut être difficile sur de fortes pentes, à moins que l'on ne charge la remorque sur le tracteur. Il peut être nécessaire, pour les mêmes raisons, de prendre en charge la semi-remorque arrière d'un ensemble tracteur et deux semi-remorques dans les voyages à vide. Pour cela, on a le choix entre plusieurs instruments de levage: treuil monté sur le tracteur, gros équipement de chargement et de déchargement des grumes, bigue et treuil, etc.

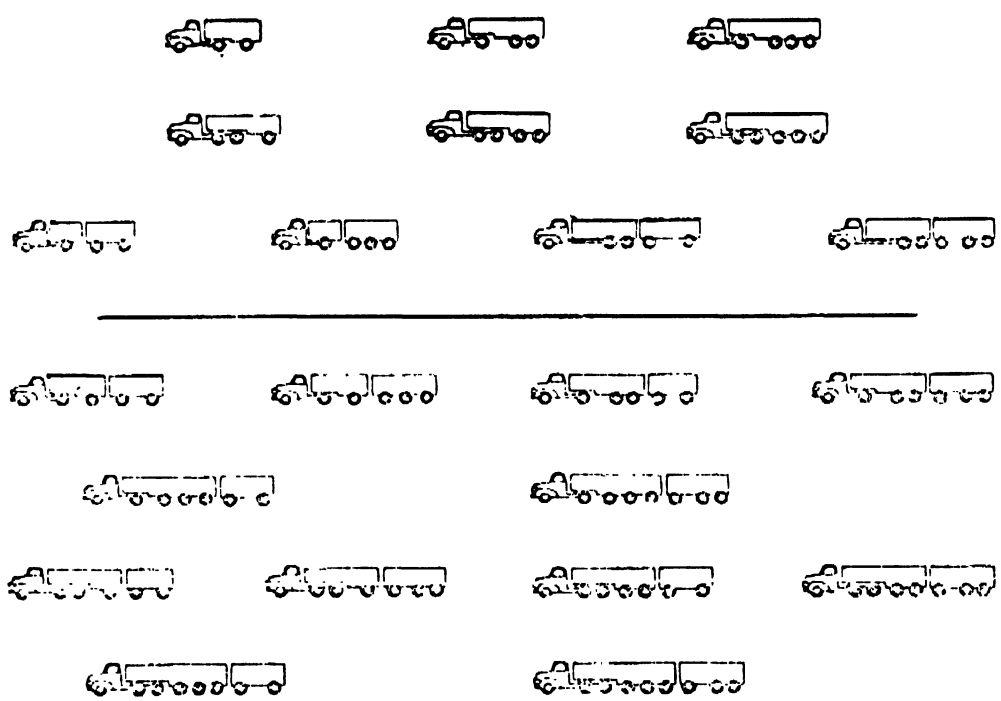


Figure 10 Exemples typiques d'ensembles tracteur-remorque

Déchargement sur semi-remorque à essieux doubles

Un ensemble tracteur-remorque s'inscrit mieux dans les courbes qu'un ensemble tracteur-semi-remorque, à moins que le timon de la remorque ne soit d'une longueur excessive. D'un autre côté, si le timon est trop court, on risque davantage la mise en travers.

Certaines remarques s'appliquent à tous les engins de transport. Pour avoir la charge la plus compacte, lorsqu'on transporte des bois courts, il faut les charger en travers dès lors que les grumes ont plus de 2 m. L'expérience montre qu'on peut transporter ainsi des grumes ayant jusqu'à 5 m de longueur. Il suffit que le véhicule ait une plateforme formée de deux poutrelles en I, d'une ridelle à claire-voie en tête et de solides ranchers à l'arrière, avec des dispositifs d'arrimage autoserreurs dans le sens longitudinal. Bien entendu, on peut également transporter des bois courts disposés dans le sens de la longueur sur camion ordinaire ou sur ensemble tracteur-remorque.

Les fûts entiers voyagent normalement gros bout en avant. Toutefois, quand la largeur et la hauteur de la charge sont réglementées, comme c'est le cas sur la plupart des routes publiques, on peut ranger la moitié supérieure de la charge fins bouts en avant pour augmenter la charge utile et améliorer la répartition du poids. Lorsque tous les gros bouts sont tournés vers l'avant, la traverse arrière doit en principe être plus courte (de 20 à 25 pour cent) et plus haute (de 30 à 50 cm) que la traverse avant.

31.2.2 Puissance nécessaire

La puissance du camion tracteur doit être assez grande pour vaincre les quatre sortes de résistance que rencontre tout engin de transport (résistance au roulement, pente, résistance aérodynamique, frottement mécanique) et pour permettre une vitesse de déplacement

acceptable dans des conditions déterminées. Il faut tenir compte également de l'altitude, notamment si le véhicule brûle de l'essence, car les moteurs à essence perdent 1 pour cent de leur puissance chaque fois que l'altitude augmente de 100 m (6).

Le tableau 28, dont les données sont exprimées en livres mais convertibles en kg, indique la résistance approximative au roulement de certaines surfaces routières habituelles et la résistance de pente équivalente (10 livres = 4,5 kg = résistance de 1 pour cent de pente). On peut négliger la résistance de l'air aux vitesses inférieures à 50 km/heure (6). Les frottements mécaniques sont généralement considérés comme égaux à 15 pour cent de la puissance nette (puissance au volant) bien qu'ils puissent varier entre 10 et 20 pour cent, selon les rapports de transmission et le nombre des essieux moteurs (6).

Le rapport poids-puissance est le rapport entre le poids brut des véhicules et la puissance au volant. Il suffit de connaître ce rapport pour savoir, en gros, si le moteur convient pour un certain type de transport. Le rapport doit être assez bas pour que la vitesse recherchée puisse être atteinte,et être cependant assez élevé pour que l'engin ne soit pas surpuissant sans nécessité. Le tableau 29 (6), dont les données sont conformes au système de mesure britannique mais convertibles en données métriques, indique les rapports poids-puissance nécessaires pour surmonter l'effet total de la résistance de la pente à des vitesses échelonnées jusqu'à 30 miles à l'heure (50 km/h).

Camion grumier lourd pour l'exploitation de la forêt tropicale

TABLEAU 28

EXEMPLES THEORIQUES DE RESISTANCE UNITAIRE AU ROULEMENT

Classe routière	Description	Etat de la surface	Résistance unitaire au roulement (1)	Pourcentage de pente équivalent
1	Revêtement dur	Lisse, optimale	8	0,8
		Moyenne, acceptable	9	0,9
		Médiocre, mauvaise	10	1,0
2	Revêtement souple, gravier traité et tassé	Lisse	10	1,0
		Moyenne, acceptable	13	1,3
		Médiocre, mauvaise	15	1,5
3	Sable et argile, gravier, gravillons ou pierres; non traité; déformation sous la charge	Lisse, bien tassée, peu ou pas de matériaux roulants	15	1,5
		Lisse, bien tassée, mince couche de matière superficielle meuble ou boueuse	18	1,8
		Acceptable, moyenne, "tôle ondulée" légère	20	2,0
		Médiocre, mauvaise, "tôle ondulée" prononcée	25	2,5
4	Sol naturel et routes en terre	Lisse, bien nivelée, sèche (pas de sable)	25	2,5
		Mauvaise, sèche (pas de sable)	28	2,8
		Mauvaise, humide, molle	40	4,0
		Sable, mouillée	75	7,5
		Sable, sèche	100	10,0
		Boue profonde, sous-sol solide	100	10,0
5	Glace, neige glacée; routes verglacées en été; pas de déformation de la surface	Lisse, pas de neige poudreuse	10	1,0
		Moyenne, scarifiée, gravier ou sol naturel verglacé en été	15	1,5
		Médiocre, mauvaise	20	2,0
6	Neige; la couche de fond n'est pas gelée profondément	Bien tassée, profondeur 2 pouces, pas glacée	30	3,0
		Peu tassée	50	5,0

Note: (1) en livres-poids pour 1 000 livres de poids brut de véhicule.

TABLEAU 29

RAPPORTS POIDS-PUISSANCES NECESSAIRES POUR SURMONTER DIVERSES RESISTANCES A DES VITESSES INFERIEURES OU EGALES A 30 MILES PAR HEURE

Effet total de la résistance de la pente et de la résistance au roulement (1)	Vitesse du véhicule en miles par heure					
	5	10	15	20	25	30
1%					1 275	1 060
2%			1 060	800	640	530
3%		1 060	710	530	425	355
4%		800	530	400	320	265
5%	1 275	640	425	320	255	210
6%	1 060	530	355	265	210	175
7%	910	455	300	230	180	150
8%	800	400	265	200	160	135
9%	710	355	235	175	140	120
10%	640	320	210	160	130	105
11%	580	290	195	145	115	
12%	530	265	175	135		
13%	490	245	165			
14%	455	230				

Note: (1) La résistance au roulement est exprimée en pourcentage de pente, 10 livres de résistance unitaire au roulement (livres de résistance au roulement pour 1000 livres de poids brut de véhicule) étant prises pour égales à la résistance d'une pente de 1 pour cent. Par exemple, la valeur de 4 pour cent indiquée dans la colonne de gauche représente un des effets totaux ci-après:

Pente	Résistance unitaire au roulement
0 %	40 pounds
1 %	30 "
2 %	20 "
3 %	10 "

A titre d'illustration, on donnera deux exemples (en mesures britanniques, comme au tableau 29):

1) Un transporteur qui doit déplacer des charges brutes de 100 000 livres à une vitesse de 20 miles/heure sur une route de gravier qui a une pente de 2 pour cent et une résistance unitaire au roulement de 20 livres désire connaître la puissance nécessaire.

   La résistance totale est équivalente à celle d'une pente de 4 pour cent. En consultant le tableau, on trouve un rapport poids-puissance égal à 400, ce qui, en poids brut de 100 00 livres, implique une puissance de 250 ch nets.

2) Un exploitant qui doit utiliser, sur une route de gravier ayant une résistance unitaire au roulement de 20 livres, un ensemble tracteur semi-remorque équipé d'un moteur d'une puissance brute de 300 ch, veut savoir quelle charge brute il peut déplacer sur une pente de 4 pour cent à 20 miles/heure.

   Un moteur de 300 ch bruts développe 300 x 0,935 = 280 ch nets (voir 3.3.5). La résistanc totale est celle d'une pente de 4 pour cent plus 20 livres de résistance unitaire au roulement, soit l'équivalent d'une pente de 6 pour cent. En consultant le tableau 29, en face de 6 %, on trouve 265 pour 20 miles à l'heure. La charge brute déplaçable est donc: 265 x 280 = 74 000 livres.

31.2.3 Dimensions du véhicule et répartition réglementaire du poids brut

Les dimensions hors tout d'un engin de transport, en charge et à vide, doivent être conformes aux dispositions réglementant la longueur, la largeur et la hauteur hors tout (voir chapitre 6).

Le poids total en charge et généralement les charges par essieu doivent être également conformes aux dispositions réglementaires. La plupart des routes publiques, lorsqu'elles ont été bien étudiées, sont conçues pour certaines charges par essieu (50 pouces, soit 1,27 m, en Amérique du Nord). Toutefois, en espaçant les essieux d'un boggie ou en dotant une remorque de boggies à 3 essieux, on augmente la capacité de charge par essieu sans augmenter beaucoup l'usure de la route (voir tableaux de l'annexe B). En général, la dimension et le poids des véhicules ne sont pas limités sur les routes privées.

La répartition du poids d'un engin transporteur par essieu ou par boggie est généralement indiquée par le constructeur. Connaissant le poids unitaire de la charge utile, il est généralement facile de calculer la répartition par essieu du poids d'un véhicule en charge.

Il importe que la fraction de la charge brute supportée par les essieux moteurs soit assez grande pour que l'engin ait une puissance de traction capable de surmonter les résistances maximales (roulement et pente) rencontrées au cours du transport (voir section 4, annexe C). Cette condition est indispensable quand les pentes sont fortes et la traction médiocre. La proportion devrait avoisiner 40 pour cent et ne pas être inférieure, en tous cas, à 30 pour cent.

31.2.4 Pneumatiques (6)

Les pneumatiques représentent une partie appréciable du coût de fonctionnement d'un véhicule et méritent donc beaucoup d'attention. Ils doivent supporter les charges prévues et tolérer dans une certaine mesure la surcharge, la sous-charge et les excès de vitesse. Le dessin des bandes de roulement sera fonction de la position de chaque roue. On donnera des pneumatiques à grande puissance tractrice aux roues motrices et des pneus plus lisses aux autres roues, à moins qu'on ne veuille augmenter l'adhérence en cas de freinage sur les routes forestières. Des pneus comme le Michelin M+S4 conviennent particulièrement sur route boueuse ou enneigée.

La plupart des exploitants forestiers considèrent que les carcasses radiales métalliques sont supérieures aux carcasses conventionnelles pour diverses raisons: vitesse admissible plus élevée, consommation de carburant réduite de 5 à 10 pour cent, meilleure dissipation de la chaleur. On a le choix entre les pneus sans chambre à air et les pneus à chambre à air, un seul pneu large et des pneus jumelés, et les pneus classiques ou extra-larges sur l'essieu avant du véhicule tracteur (les pneus extra-larges augmentent l'effort de direction).

31.2.5 Autres organes du véhicule

Le dessin et la capacité des suspensions, des essieux avant et arrière, des roues, du système de freinage, de l'embrayage, de la transmission, etc., dépendent avant tout du constructeur. Néanmoins, l'exploitant et l'ingénieur forestiers devront s'assurer eux-mêmes que les caractéristiques sont satisfaisantes. Ils se préoccuperont surtout de certains organes de la remorque, par exemple les traverses destinées à recevoir les grumes de sciage ou les fûts entiers, les béquilles de stabilisation, le décalage du pivot d'accrochage et le porte-à-faux de la remorque (influence sur la répartition des charges et sur la charge par essieu), le dégagement de la cabine et des béquilles au cours des manoeuvres, les dispositifs d'arrimage de la charge, etc.

On évitera de mettre des freins sur les roues avant des trains routiers, à moins que la loi ne l'exige, afin que les véhicules risquent moins de se mettre en travers ou de sortir de la route quand, à la suite d'un coup de frein, les roues avant se bloquent, notamment dans les virages.

Toutes ces questions sont longuement étudiées dans la publication de l'Université du Nouveau Brunswick intitulée "Trucks and Trailers and their Applications to Logging Operations" (6).

31.2.6 Calcul du prix de revient des matériels de transport

Il faut ventiler les coûts par heure d'arrêt et par heure de déplacement étant donné qu'ils diffèrent dans une proportion d'environ 1 à 3. Cette question est étudiée au chapitre 3 et dans l'annexe H.

Si l'on calcule ainsi les coûts, l'élément variable du coût de transport (celui qui correspond au déplacement) est inversement proportionnel à la vitesse de déplacement, de sorte que, par exemple, le coût de transport au mètre cube diminue de moitié si l'on double la vitesse. Il est donc utile que les routes soient bien conçues, construites et entretenues.

On peut calculer approximativement le coût de fonctionnement des camions et des remorques par heure d'arrêt et par heure de voyage en appliquant la formule du tableau 30.

TABLEAU 30

COUT APPROXIMATIF DU COUT DE FONCTIONNEMENT HORAIRE DES CAMIONS ET CAMIONS-REMORQUES

Poste		Coût de fonctionnement horaire		
		Camion ou tracteur	Remorque	Total
1) $\frac{C1}{15\ 000}$	=	x	-	x
2) $\frac{C2}{20\ 000}$	=	-	x	x
3) c (1 + f)	=	x	-	x
4) Coût par heure de déplacement	=	xx	-	xxx
5) $\frac{2,4 \times C1}{10\ 000}$	=	x	-	x
6) $\frac{2,4 \times C2}{15\ 000}$	=	-	x	x
7) Coût par heure de déplacement	=	xxx	xx	xxxxx

où:

C1 = coût d'achat du camion ou du tracteur

C2 = coût d'achat de la remorque

c = salaire horaire du conducteur

f = coût des avantages marginaux en pourcentage du salaire.

31.2.7 Mode d'application des coûts de fonctionnement des camions et remorques

Le mieux est de prendre un exemple:

a) Trouver le coût de transport, chargement et déchargement non comptés, à parti des données ci-après:

1) le tracteur coûte 45 000 dollars E.-U., la semi-remorque 15 000 dollars E.-U.;

2) le conducteur reçoit un salaire de 2 dollars E.-U./heure de poste; les avantages marginaux représentent 50 pour cent du salaire;

3) la charge moyenne est de 34 m^3;

4) le temps de chargement est de 30 minutes et le temps de déchargement de 10 minutes par charge;

5) on prévoit un délai de 10 minutes par charge pour les attentes aux points terminaux;

6) les distances et les vitesses de transport sont les suivantes:

	Distance moyenne de transport en km	Vitesse moyenne du voyage aller et retour en km/heure
i) route d'alimentation	1	10
ii) route secondaire	10	30
iii) route principale	40	60

b) Pour trouver la solution, on procédera comme suit:

1) d'après le tableau 30, le coût de fonctionnement de l'engin de transport est de 6,75 dollars E.-U. par heure d'arrêt et de 20 dollars E.-U. par heure de voyage;

2) les coûts aux points terminaux en dollars E.-U./m^3, non compris le chargement et le déchargement, s'établissent comme suit:

	Temps/charge en heures	Coût en doll. E.-U./m^3
Chargement	0,50	0,10
Déchargement	0,17	0,034
Temps morts	0,17	0,034
Total par voyage	0,84	0,17

3) le coût de déplacement en dollars E.-U./m^3/km se calcule comme suit:

	Distance moyenne de transport en km	Vitesse moyenne de déplacement en km/h	Voyage aller-retour		Coût de déplacement	
			Temps de voyage en heures	Coût en $ E.-U.	par m^3	par m^3/km
Route d'alimentation	1	10	0,20	4,00	0,12	0,12
Route secondaire	10	30	0,67	13,30	0,39	0,04
Route principale	40	60	1,33	26,70	0,79	0,02
Total	51	32	2,20	44,00	1,30	0,025

Le coût global de transport, chargement et déchargement non compris, peut alors être exprimé sous la forme d'un coût à l'arrêt de 0,17 dollar E.-U./m^3 et d'un coût de déplacement de 0,025 dollar E.-U./m^3/km. Toutefois, on remarquera que le coût en m^3/km est six fois plus élevé sur la route d'alimentation que sur la route principale et trois fois plus élevé que sur la route secondaire, de sorte que l'on aurait peut-être intérêt à améliorer les routes les plus médiocres.

31.3 Chargement

31.3.1 Généralités

Le chargement des produits forestiers bruts s'effectue généralement par des procédés mécaniques. Dans certaines régions où la matière première est rare et assez légère pour être manutentionnée par un seul homme, on peut s'en tenir aux procédés manuels, notamment si les salaires sont bas et la main-d'oeuvre abondante. Dans une exploitation forestière colombienne, par exemple, une équipe de deux hommes charge à la main des billons et des billons refendus de 1,5 m à une cadence de 5-6 tonnes par homme et par heure. Le chargement manuel est encore pratiqué dans une certaine mesure dans l'est de l'Amérique du Nord où l'on produit beaucoup de bois de 1,22 m, quand les opérations sont de faible envergure et les camionneurs propriétaires de leurs véhicules.

Dans certaines régions tropicales, la main-d'oeuvre charge les grumes courtes à l'aide de plans inclinés en les roulant ou bien en les trévirant avec des cordes de chanvre ou autres fibres. On peut utiliser également la traction animale pour le trévirage. Dans certains pays de l'Asie du Sud-Est, où les éléphants sont utilisés pour le débardage, on les emploie aussi pour le chargement.

Le chargement mécanisé des véhicules de transport peut se faire de bien des manières. On peut utiliser des tracteurs et des treuils de toutes sortes pour hisser ou trévirer des bois ayant la longueur d'une grume de sciage avec ou sans l'aide de bigues, de chèvres ou de derricks. Parfois, le treuil est monté sur le véhicule de transport et actionné par la transmission. Dans certains cas, on se sert de bulldozers pour pousser les grandes grumes dans les camions par l'intermédiaire d'un plan incliné. Les méthodes indiquées ci-dessus sont surtout utilisées quand les grumes sont de grandes dimensions et les opérations forestières de trop faible envergure pour justifier l'acquisition de chargeuses plus modernes.

Il existe deux grands types de chargeuses mécaniques conçues pour le travail en bordure de route: les unes sont équipées d'une flèche articulée à grappin, les autres d'une fourche (c'est le cas des chargeuses frontales) ou d'un grappin (c'est le cas du Cary-Lift). Au cours de l'opération de chargement, elles font le va-et-vient entre le tas de bois et le véhicule de transport. La plupart de ces machines mobiles peuvent être utilisées pour charger des bois courts, des fûts entiers ou des arbres entiers bien que certains modèles aient des possibilités sérieusement limitées, par exemple les chargeuses frontales travaillant avec des bois de moins de 2 m. Des grues à flèche rigide peuvent être également utilisées dans quelques cas pour charger des grues de sciage et des matériaux de plus grande dimension: elles sont alors équipées d'un grappin. Certains forwarders et harvesters de bois courts sont capables de transborder directement le bois sur le véhicule de transport et d'éviter ainsi des manutentions ultérieures. Dans ce cas, on laisse généralement à leur disposition, en bordure de la route, un certain nombre de semi-remorques ou de remorques indépendantes.

31.3.2 Le chargeur de bois court Pettibone Cary-Lift

Ce chargeur est construit en plusieurs dimensions. Il est monté sur un châssis non articulé à quatre roues motrices indépendantes et équipé d'un grappin hydraulique à rotation continue qui est dimensionné pour la manutention des bois courts de 1,22 m à 5-6 mètres. Il convient surtout pour les bois de 2,5 m et donne les meilleurs résultats dans des chantiers au sol plat et uni. Le chargeur est bâti en porte-à-faux de telle manière qu'on peut ramener le grappin chargé vers le châssis pour assurer une meilleure répartition du poids pendant les déplacements.

Le chargeur avance vers le tas de grumes, happe une charge dans le grappin, la soulève, la ramène vers le châssis, tourne et part en direction du véhicule de transport, élève à nouveau le grappin, le fait avancer jusqu'à l'axe du véhicule, puis abaisse et ouvre lentement le grappin pour permettre aux grumes de se répartir bien également sans se chevaucher.

Le Cary-Lift Super 20 est couramment utilisé pour le chargement des bois de pâte dans l'est de l'Amérique du Nord. Son grappin a une superficie minimale de 2,4 m^2 et il est capable de tenir 3,5 m^3 de bois de 2,5 m. Dans la pratique, la charge moyenne du grappin

est très inférieure parce qu'il est difficile de prélever toujours le maximum possible de bois sur la pile de grumes et, aussi, d'égaliser le chargement du camion ou de la remorque. L'expérience a donné les résultats ci-après avec des bois de 2,5 m:

1) charge moyenne du grappin..... 2,2 m^3

2) minutes par cycle:

a) préhension au tas de grumes..... 0,37 minute

b) déchargement au camion..... 0,35 minute

c) temps pour manoeuvrer, aller à la pile de grumes et en revenir, plus 0,02 minute par mètre de distance entre la pile de grumes et le camion..... 0,45 minute

d) temps morts (mise en ordre du bois sur la pile de grumes et sur le camion, déplacement improductifs et autres pertes de temps).. 1,03 minute

A partir de ces données, on obtient la formule ci-après:

$$LT = \frac{1,3 + 0,02\ TD}{AGL}$$

où:

LT = temps de chargement en minutes/m^3;
TD = distance moyenne en mètres entre le camion et la pile de grumes;
AGL = charge moyenne du grappin en m^3.

On peut appliquer la même formule aux autres chargeuses Cary-Lift.

31.3.3 Chargeurs à flèche rigide

On emploie dans quelques régions des grues d'une capacité d'un demi à 1 1/4 yard cube (nomenclature nord-américaine) pour charger des bois courts et des fûts entiers, mais surtout des bois de 2,5 et de 5 m. Certaines sont chenillées, d'autres montées sur des véhicules à routes. Les machines chenillées peuvent travailler hors route, perpendiculairement aux piles de grumes et aussi entre les piles, mais alors plus lentement. Les machines à roues se déplacent plus rapidement, mais ne peuvent travailler que sur un sol ferme.

On utilise divers types de grappins, tous commandés par câbles métalliques, y compris un grappin double qui permet de manipuler simultanément deux rangées de bois de 1,22 m. On a besoin de câbles de stabilisation pour limiter et diriger les mouvements du grappin. Le conducteur n'arrive à une pleine efficacité qu'après une longue période de formation. Les grappins simples pèsent 1 300-1 600 kg et coûtent quelque 6 000-7 000 dollars E.-U. Les grappins doubles sont plus lourds et plus coûteux. Les grues durent très longtemps. Les coûts de fonctionnement du grappin et des câbles (réparation et remplacement) sont de l'ordre de 1,50 et 1,25 dollar E.-U. par PMH, respectivement.

La cadence théorique de chargement est de 125-150 m^3/PMH, mais en général les déplacements et les attentes font perdre beaucoup de temps (parfois 50 pour cent d'un temps de poste).

31.3.4 Chargeurs à flèche articulée

Les chargeurs hydrauliques à flèche articulée sont montés sur plaque tournante. Ils sont soit automoteurs, soit installés sur la plateforme d'un camion 6 x 4 de poids brut approprié. Tous les modèles à roues sont équipés de béquilles de stabilisation. Quand le chargeur est installé sur un camion, le moteur actionnant les pompes hydrauliques du chargeur est monté sur plaque tournante. Ces engins peuvent être munis d'un grappin capable de manutentionner les bois courts ou d'un grappin à talon capable de manutentionner les fûts entiers. Quand on veut disposer d'un engin de transport autochargeur, on peut monter de petits chargeurs à flèche articulée derrière la cabine du véhicule transporteur, s'il s'agit d'un camion, ou plus en arrière s'il s'agit d'un ensemble camion-remorque.

Le tableau 31 indique les charges que divers modèles de chargeurs à flèche articulée peuvent manutentionner avec des flèches de portées différentes.

TABLEAU 31

CAPACITES DE CHARGE UTILE DE QUELQUES CHARGEURS A FLECHE ARTICULEE, EN KG

Montage du chargeur	Portée maximum de la flèche en mètres	Capacité (1) de charge nette en kg avec diverses portées de flèches en mètres		
		3 m	6 m	Maximum
Sur un camion	6	5 000	2 350	-
Sur la plateforme	7,5 (2)	8 500	4 100	3 000
	9 (2)	17 700	8 600	5 000
	6,5	2 200	900	850
	6,5	1 600	730	700
Sur un porteur 4 roues	9	18 000	8 700	5 000
Sur le châssis du camion derrière la cabine	6	3 500	1 200	-

Notes: (1) La capacité de charge nette est la capacité brute moins le poids du grappin.

(2) Contrepoids par grappin à talon.

a) Chargement de fûts entiers par grappin à talon

Dans ce type d'opération, les fûts entiers sont empilés perpendiculairement à la route, les gros bouts tournés vers celle-ci. Le véhicule de transport et le chargeur doivent manoeuvrer jusqu'à ce que le premier soit tourné dans sa direction de marche, tandis que le chargeur, automoteur ou monté sur camion, vient à reculons prendre place devant le véhicule et tout près de lui. La manoeuvre demande environ 3 minutes par charge. Le chargeur avance son grappin, saisit des fûts de 3-4 m par le gros bout, les cale contre le talon, soulève toute la charge, la fait basculer et la dépose dans la semi-remorque en passant au-dessus de la cabine. Si le chargeur ne peut pas atteindre suffisamment de fûts pour un chargement complet, le chargeur et le véhicule de transport doivent se déplacer l'un et l'autre vers une nouvelle position. Quand le chargement est fini, le chargeur doit sortir de la route à un point ou à un autre pour permettre au véhicule de circuler.

Les exmples montrent que:

i) le temps fixe total par chargement de remorque varie entre 5 et 7 minutes;

ii) la charge moyenne du grappin est de l'ordre de 1,05 m^3;

iii) le cycle moyen du grappin varie de 0,55 à 0,60 minute selon l'habileté du conducteur;

iv) la cadence de chargement est de l'ordre de 1,75 m^3/minute, sans compter le temps mentionné au paragraphe i) ci-dessus.

Le temps qu'il faut, en minutes, pour charger le camion-remorque et le coût du chargement au m^3 peuvent être déterminés alors par les formules ci-après:

1) $LT = 6 + \frac{0,55\ L}{GL}$ et

2) $LCM = \frac{LT\ [C + c\ (1 + f)]}{60\ L}$

où:

LT = temps de chargement en minutes/charge camion-remorque;

LCM = coût du chargement en dollars E.-U./m^3;

L = charge du camion-remorque en m^3;

GL = charge moyenne du grappin en m^3;

C = coût de fonctionnement du chargeur en $E.-U./PMH, y compris le coût de l'engin porteur et à l'exclusion du coût du conducteur;

c = salaire du conducteur en dollars E.-U. par PMH;

f = coût des avantages marginaux en pourcentage du salaire.

b) Chargement en travers de grumes de 2,5 m à l'aide d'une flèche articulée et d'un grappin à bois de trituration

Quelques chargeurs à flèche articulée,destinés à la manutention de bois courts,ont les mêmes superstructures et la même base (chenillée) qu'une excavatrice, complétées par une flèche et un grappin appropriés. D'autres sont montés sur roues comme les modèles décrits dans la section précédente.

Les grumes dont la longueur est voisine de la largeur de charge maximale autorisée - 2,5 m par exemple - sont généralement chargées en travers du camion ou de la remorque parce que cette méthode donne la charge la plus compacte et parce qu'elle facilite le déchargement par poussée ou basculage.

Pour ce type de chargement, on dispose généralement le bois en une ou plusieurs rangées le long de la route. Le chargeur stationné à côté du véhicule de transport saisit le bois et le transfère au camion ou à la remorque. C'est une opération toute simple, l'inverse de ce que fait un forwarder qui décharge son contenu au bord de la route. Contrairement à ce qui se passe quand on débarde des fûts entiers, il n'est pas nécessaire que le chargeur et le véhicule de transport perdent du temps à manoeuvrer avant de charger ou à se déplacer vers d'autres positions.

La cadence de chargement varie suivant la taille du chargeur et du grappin et suivant l'habileté du conducteur. L'opération comprend:

i) un temps à l'arrêt pour mettre en position le véhicule de transport, redémarrer quand le chargement est fini, et mettre en place les dispositifs d'arrimage autoserreur;

ii) un temps de chargement variable par m^3.

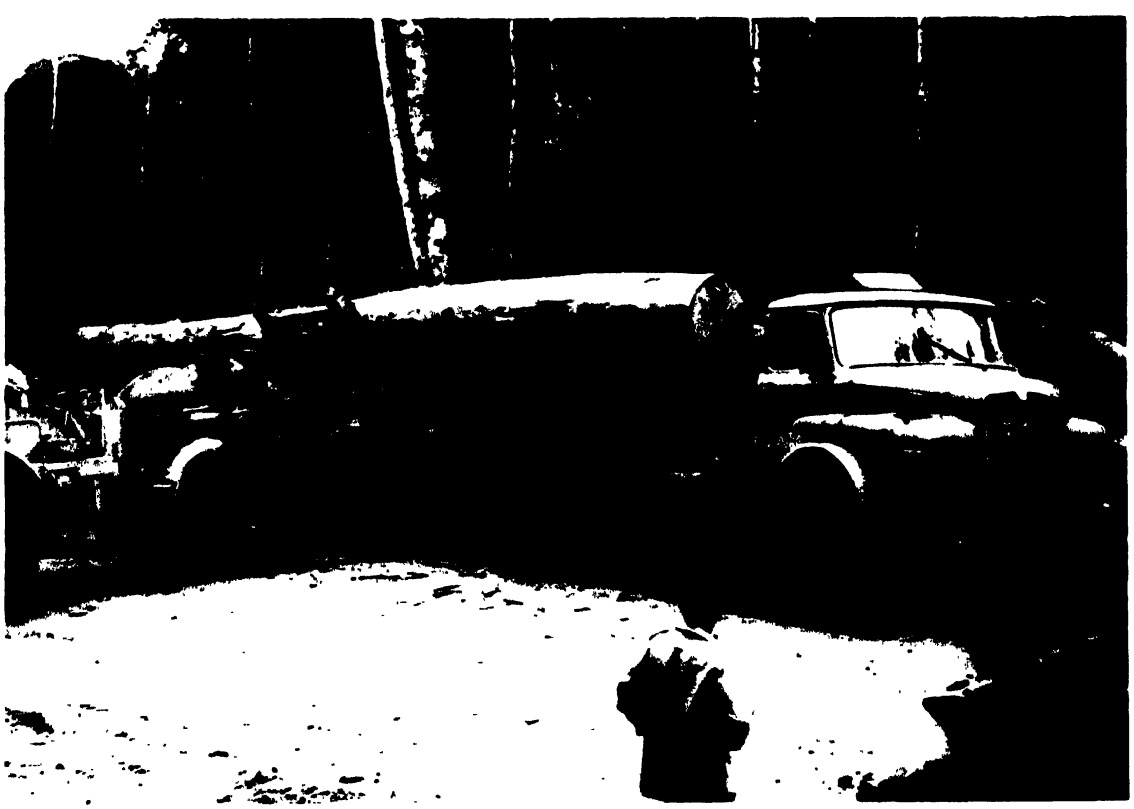
Dès qu'un véhicule de transport s'est retiré, un autre peut prendre sa place, ce qui perd un minimum de temps de chargement.

Au cours d'une opération typique effectuée dans l'est du Canada avec un chargeur à flèche articulée et un grappin de 1,2 m^3 du type le plus courant, il a fallu pour transférer 42 m^3 de bois de 2,5m à une remorque un temps de 30 minutes, soit une cadence de 1,4 m^3/minute.

31.3.5. Chargeuses frontales

Les chargeuses frontales sont montées sur un châssis de tracteur chenillé dont on a modifié la suspension ou par un châssis articulé à quatre roues motrices. Toutes sont équipées d'une fourche munie ou non de bras extensibles de 50 à 60 cm de longueur destinés à augmenter la hauteur de levage et un dispositif d'éjection pour dégager plus facilement les grumes de la fourche en position haute. Les chargeuses chenillées pèsent de 15 à 20 tonnes et les chargeuses à roues de 15 à 35 tonnes. Le coût est d'environ 5,50-6 dollars E.-U. le kg. Les dents horizontales de la fourche ont une longueur de 150 à 220 cm selon la taille et le poids de la machine.

Les chargeuses frontales sont généralement utilisées pour charger des grumes de sciage ou des bois plus longs, y compris des fûts entiers qui sont chargés en long sur le véhicule de transport. On peut s'en servir également pour charger en long des grumes de 2,5-3 m, et en travers des grumes de 2,5 m en chargeant le camion ou la remorque par derrière, mais cette pratique n'est pas recommandée.



Chargement du grumier avec chargeur frontal sur pneu

Les chargeurs doivent, comme le Cary-Lift mentionné précédemment, se déplacer entre la pile de grumes ou de fûts et le véhicule de transport en maintenant levés la fourche et son chargement. Il serait difficile de traîner la charge à l'aide des dents de la fourche. Il faut que le sol soit plat, ferme, débarrassé des souches et autres obstacles. Pour ce genre d'opération, qui a lieu en été, on passe souvent les chantiers au bulldozer, ce qui entraîne des dépenses supplémentaires qui ne se produisent pas avec les chargeuses à flèche articulée et à talon stationnées sur la route.

En été, quand le sol est mou, le chargement des fûts entiers ne peut être effectué que par des chargeurs à talon, comme on l'a dit précédemment, ou avec de grands chargeurs munis d'une flèche articulée très longue et d'un grappin spécialement étudié qui sont capables, tout en restant stationnés au bord de la route, d'attraper par le centre de gravité plusieurs fûts entiers, de les faire pivoter et de les placer sur le véhicule de transport. Ces grands chargeurs sont en mesure de faire tourner les fûts de 180° au-dessous de la flèche et de les charger gros bout en avant ou fin bout en avant selon les besoins.

La cadence de chargement de fûts entiers à l'aide de chargeuses frontales dépend de plusieurs facteurs: la dimension et la puissance de la machine, l'habileté du conducteur, la hauteur de levage, l'état du chantier, la distance entre le tas de bois et la remorque, et l'orientation du tas par rapport à la route. Les expériences effectuées dans l'est du Canada montrent que:

1) les machines à roues et les machines chenillées de même puissance ont des cadences de chargement peu différentes;

2) le temps fixe par chargement (attendre que le véhicule de transport soit prêt à recevoir les grumes et qu'il s'éloigne après avoir achevé son chargement, remettre en ordre la charge, etc.) prend en moyenne quelque 5 minutes;

3) la charge moyenne du grappin en m^3 = 1,5 pour cent de la GHP nominale du chargeur;

4) le temps moyen de manoeuvre du chargeur, à l'exclusion du temps fixe, varie entre 1,50 et 1,75 minute;

5) la cadence moyenne de chargement en m^3/minute, non compris le temps fixe, représente environ 1 pour cent de la capacité GHP du chargeur.

Le temps de chargement en minutes par camion ou remorque et le coût du chargement par m^3 sont donnés par les formules ci-après:

1) $$LT = 5 + \frac{1,6\ L}{GL}$$

2) $$LCM = \frac{LT\ [C + c\ (1 + f)]}{60\ L}$$

où:

LT = temps de chargement en minutes par camion ou remorque;

LCM = coût du chargement en dollars E.-U./m^3;

L = charge du camion-remorque en m^3;

GL = charge moyenne du grappin en m^3;

C = coût de fonctionnement du chargeur en dollars E.-U./PHM;

c = salaire du conducteur en dollars E.-U./PMH;

f = coût des avantages marginaux, en pourcentage du salaire.

En étudiant la question du chargement de fûts entiers, on voit que les chargeuses frontales peuvent travailler plus rapidement que les chargeuses à flèche articulée munie d'un talon mais qu'elles ont du mal à disposer les fûts régulièrement sur la remorque (répartition des charges). En conséquence, elles ne sont pas capables de réaliser un aussi gros chargement. Dans certains cas, et avec certaines machines, la réduction peut atteindre 20 pour cent.

31.4 Déchargement

Il existe de nombreuses méthodes de déchargement des véhicules de transport. Tout dépend des circonstances. Quand on décharge des bois courts dans l'eau, on les fait généralement basculer par l'extrémité ou latéralement, à moins qu'on ne se serve d'un bulldozer pour les pousser. Quand on les décharge sur la glace d'un lac ou d'une rivière, ou bien sur un chantier qui sera inondé plus tard, on peut employer le même procédé ou bien on peut décharger et réempiler le bois avec des engins identiques à ceux qui sont utilisés pour le chargement et à des coûts au m^3 qui sont à peu près les mêmes. Pour décharger dans l'eau des fûts entiers ou des arbres entiers, on utilise plutôt des grues à flèche rigide ou d'un autre type, qui manutentionnent le bois par tas entiers.

Les grumes de sciage, les fûts entiers, les arbres entiers peuvent être déchargés et stockés par des chargeuses frontales, des grues à flèche rigide et à grappin ou des portiques. Ils peuvent être également déchargés par poussée ou traction mécanique dans une installation de tronçonnage ou de triage pour être immédiatement traités. Enfin, on peut les décharger sur le sol pour être tronçonnés et emportés à un chantier ou jetés dans un bassin. On voit se répandre actuellement l'utilisation de puissantes machines du type chargeuse frontale qui sont capables de prendre et de transporter un chargement complet de fûts entiers ou d'arbres entiers.

Déchargement du bois rond avec chargeur frontal sur chenilles

ANNEXE A

SYSTEME DE CLASSIFICATION DES ROUTES DU SERVICE FORESTIER DES ETATS-UNIS ET COURS DE TRANSPORT DU BOIS A PATE AU MINNESOTA

Les coûts de transport sont calculés en fonction des divers éléments qui les composent: salaires des conducteurs, y compris l'assurance et autres charges sociales, coût du matériel, amortissement et autres coûts de fonctionnement. On a utilisé les chiffres de 1968 pour les salaires, le prix d'achat du camion, de la remorque et du chargeur, les primes d'assurance et le coût des pneus et du carburant. On a admis un amortissement linéaire sur six ans et un taux d'intérêt de 6 pour cent. Tous les ajustements sont faits par comparaison avec les études sur les coûts du transport par camion R-7 du rapport Byrnes-Nelson-Coogin de 1957 sur les coûts de transport des grumes.

TABLEAU 32

COUT DE TRANSPORT DU BOIS A PATE DU MINNESOTA SELON LA QUALITE DE LA ROUTE ET LA DIMENSION DU CAMION

(en dollars E.-U. par corde-mile)

Classe de route	Dimension du camion-charge moyenne (cordes) 1/			
	4	6	8	10
Route rapide, 45 miles/h	0,09	0,08	0,08	0,06
Classe I - 35 miles/h	0,13	0,12	0,11	0,08
Classe II - 25 miles/h	0,18	0,17	0,16	0,12
Classe III - 16 miles/h	0,26	0,24	0,24	0,18
Classe IV - 8 miles/h	0,47	0,43	0,46	0,34
Classe V - 4 miles/h	0,85	0,78	0,86	0,65
Coûts fixes (attente, retard, chargement et déchargement)	1,78	1,65	1,41	1,81

1/ Caractéristiques des camions (équipés de chargeurs):

4 cordes, plateau 4 x 2, essieux simples, poids brut du véhicule 28 000 livres;
6 cordes, plateau 6 x 4, essieux couplés, poids brut 37 000 livres;
8 cordes, tracteur routier, 4 x 2, essieux simples, avec remorque à plateau de 28 à 30 pieds, poids brut 59 000 livres;
10 cordes, tracteur routier, 6 x 4, essieux couplés, avec remorque à plateau de 30 à 35 pieds, poids brut 72 000 livres.

CAPACITE DE LA ROUTE ET UTILISATIONS POSSIBLES

Grands axes rapides, vitesse moyenne de croisière 45 miles/h

Cette classe comprend les meilleures routes où les camions peuvent tenir une moyenne élevée. Il faut tenir compte des traversées de villes, etc.

Classe I, vitesse moyenne de croisière 35 miles/h

Cette classe comprend les routes nationales et principales revêtues de béton ou de bitume avec une couche de roulage en gravier bien stabilisée. La vitesse nominale est comprise entre 40 et 60 miles par heure. La vitesse de croisière des camions est de 30-40 miles/h avec une moyenne de 35 miles/h. Tout tronçon de route d'une certaine longueur en montée, avec une pente de 6 pour cent au moins, est considéré comme de classe II.

Classe II, vitesse moyenne de croisière 25 miles/h

Comprend les routes secondaires et cantonales et les routes forestières sur lesquelles la vitesse nominale est de 30 miles/h et la vitesse de croisière des camions de 25 miles à l'heure. Il s'agit de routes à deux voies ou à voie unique, avec des tronçons plus larges pour les croisements ou les dépassements, visibles les uns des autres. La couche de roulage peut être en bitume, en gravier compacté ou en sol stabilisé, elle doit être bien entretenue. L'alignement horizontal est caractérisé par des courbes de rayon minimum de 300 pieds et d'une pente maximum de 7 %. Tout tronçon d'au moins un quart de mile en montée avec une pente de 7 % est considéré comme de classe III.

Classe III, vitesse moyenne de croisière 16 miles/h

Comprend les routes locales et vicinales et les routes forestières à une voie avec une vitesse nominale de 20 miles/h et une vitesse moyenne de croisière pour les camions de 16 miles/h. Des points de dépassement sont aménagés mais ne sont pas toujours visibles l'un de l'autre. Bonne surface de roulement en gravier ou en sol compacté; entretiens intermittents à la niveleuse. Rayon de courbure minimum 200 pieds et pente maximum 10 %. Tout tronçon d'au moins un quart de mile en montée avec une pente de plus de 10 % est considéré comme de classe IV.

Classe IV, vitesse moyenne de croisière 8 miles/h

Comprend, indépendamment de leur statut juridique, les routes à voie unique sans zones de dépassement ou croisement. Ce sont des équipements minimums pour lesquels on n'a pas tenu compte, lors du choix du tracé et de la construction, d'une vitesse nominale. Elles sont généralement sinueuses et comprennent beaucoup de virages serrés. Le profil en long suit de près le relief et est très accidenté. La pente peut atteindre 12 %. Les routes de cette classe n'ont généralement pas de revêtement, si ce n'est sur les tronçons instables, où l'on épand généralement une couche de gravier. Le drainage est généralement assuré par les exutoires naturels qui traversent la chaussée. La vitesse de croisière des camions est de l'ordre de 6 à 11 miles/h, avec une moyenne de 8 miles/h.

Coût de transport Classe V, vitesse moyenne de croisière 4 miles/h

Il s'agit des routes de desserte dans la zone de la coupe. Généralement étroites, non drainées, sinueuses, accidentées. Voie unique ouverte aux bulldozers, avec protubérances rocheuses et souches sur la chaussée et guère de possibilités de dépassement et de croisement. La vitesse de croisière est de l'ordre de 3-5 miles/h et la vitesse moyenne de 4 miles/h. On ne tiendra pas compte des tronçons courts (jusqu'à 400 pieds) entre le dépôt et la route, car le coût de ce parcours est compris dans celui du temps d'attente.

ANNEXE B

CHARGE DES ESSIEUX

Les routes sont construites en fonction de la charge standard d'un essieu simple. Mais les véhicules ont en général des essieux couplés ou parfois des bogies à trois essieux à l'arrière du tracteur ou de la remorque. Le tableau 33 indique l'équivalence entre diverses charges portées par un seul essieu et les mêmes charges portées par des essieux doubles ou triples espacés de 1,22 et de 2,44 m respectivement, et équipés de roues et pneus doubles. La charge par essieu peut être accrue impunément si l'écart entre les essieux est plus grand.

Par exemple, sur les routes publiques de la Province de l'Ontario, au Canada, qui applique une réglementation particulièrement complexe et détaillée en ce qui concerne les poids admissibles sur les routes, le poids brut maximum autorisé pour les bogies à deux et trois essieux figurent aux tableaux 34 et 35 (9). Ainsi, une route prévue pour une charge de 15 900 kg sur essieux doubles avec un espacement de 1,22 m peut supporter sans inconvénient 18 000 kg si l'espacement des essieux est porté à 1,83 m. C'est là un point très important dont il faut tenir compte dans la planification des routes forestières et le choix du matériel de transport pour l'exploitation.

TABLEAU 33

EQUIVALENCE DES CHARGES PAR ESSIEU(3)

Essieu simple Charge en kg	Nombre équivalent d'essieux portant 8 200 kg	Charge équivalente en kg	
		Essieux couplés 1/ 3/	Essieux triples 2/ 4/
6 350	0,38	11 350	14 200
7 275	0,71	12 950	16 200
8 200	1,00	14 500	18 100
9 100	1,93	16 200	20 200
10 000	2,99	17 800	22 200
10 900	4,45	19 400	24 300
11 800	6,44	21 000	26 200
12 700	9,05	22 600	28 200
13 600	12,45	24 200	30 200

1/ Espacement entre les essieux: 1,22 m

2/ Distance entre le premier et le troisième essieu du boggie: 2,44 m

3/ La charge peut être équivalente à environ 75 pour cent de plus que celle d'un essieu simple, c'est-à-dire qu'une route prévue pour des charges de 9 100 kg par essieu simple avec pneu double peut porter une charge de 16 200 kg par essieu couplé si les essieux sont espacés de 1,22 m

4/ La charge peut être équivalente à 120 pour cent de plus que la charge par essieu simple et à 25 pour cent de plus que la charge par essieu couplé, c'est-à-dire qu'une route prévue pour une charge de 9 100 kg par essieu simple peut supporter une charge de 20 200 kg par essieu triple si la distance entre le premier et le troisième essieu du boggie est de 2,44 m

TABLEAU 34[9]

POIDS MAXIMUM PAR ESSIEU COUPLE

Colonne 1	Colonne 2
Espacement entre les essieux en pouces	Poids maximum en livres
Jusqu'à 40	20 000
De 40 à 48	32 000
" 48 " 51	35 000
" 51 " 54	35 500
" 54 " 57	36 000
" 57 " 60	36 500
" 60 " 63	37 500
" 63 " 66	38 000
" 66 " 69	38 500
" 69 " 72	39 000
72 et plus	40 000

TABLEAU 35

CHARGE MINIMUM PAR ESSIEU TRIPLE

Colonne 1	Colonne 2
Espacement des essieux en pouces	Poids maximum en livres
Jusqu'à 80	35 000
de 80 à 96	40 000
" 96 " 111	44 000
" 111 " 114	44 500
" 114 " 117	45 000
" 117 " 120	45 500
" 120 " 123	46 000
" 123 " 126	46 500
" 126 " 129	47 500
" 129 " 132	48 000
" 132 " 135	49 000
" 135 " 138	49 500
" 138 " 141	50 000
" 141 " 144	50 500
" 144 " 147	51 000
" 147 " 150	51 500
" 150 " 153	52 500
" 153 " 156	53 000
" 156 " 159	54 000
" 159 " 162	54 500
" 162 " 165	55 000
" 165 " 168	55 500
" 168 " 171	56 000
" 171 " 174	56 500
" 174 " 177	57 000
" 177 " 180	57 500
" 180 " 183	58 500
" 183 " 186	59 000
" 186 " 189	59 500
" 189 " 192	59 500
" 192 et plus	60 000

ANNEXE C

CONSIDERATIONS GEOMETRIQUES CONCERNANT LES ROUTES FORESTIERES

La vitesse de sécurité nominale minimum d'une route exprimée en km/h doit être de 20 km/h supérieure à la vitesse de croisière. La vitesse de croisière est celle en dessous de laquelle le véhicule en charge ne doit pas être obligé de descendre pour des raisons autres que l'encombrement. Diverses considérations géométriques régissent le tracé de la route.

1. Largeur des voies et des accotements

Les routes principales ont généralement deux voies d'une largeur suffisante pour que les véhicules puissent se croiser ou se dépasser sans ralentir. La largeur optimale de chaque voie est égale à la largeur du véhicule en charge plus 1,22 m. Si elle tombe en dessous de cette valeur, il faut s'attendre à une réduction de la vitesse momentanée (pouvant atteindre 1 km/h par 30 cm de largeur en moins) et de la vitesse de dépassement et de croisement, pouvant atteindre 1 km/h par 5 cm (3).

Si possible, une route principale doit avoir un accotement d'au moins 1,22 m pour ne pas ralentir les véhicules. La vitesse diminue de 1 km/h pour chaque 6 cm d'accotement en moins, surtout lors des croisements (3). Ainsi, la plateforme d'une grande route à deux voies où circulent des véhicules de 2,50 m de large doit être large d'environ 10 m; si les véhicules sont plus larges, il faut élargir la route en conséquence. En pratique, la largeur des routes forestières dépend beaucoup de la densité de la circulation et de la durée de vie de la route.

Les routes secondaires sont généralement à voie unique ou ont une largeur intermédiaire, mais leur portance doit être égale à celle des routes principales et des garages ou points de croisement doivent être aménagés à des intervalles appropriés. Lors des croisements, l'habitude est de donner la priorité aux véhicules chargés.

Lorsque le rayon des virages est inférieur à 150 m, la chaussée doit être élargie à l'intérieur pour permettre l'inscription du camion dans la courbe, en dépit de la déviation. La déviation est l'écart entre le parcours de la roue avant intérieure et la roue arrière intérieure dans un tournant. La déviation dépend du rayon de la courbe et de l'empattement des divers éléments du véhicule; elle peut être calculée précisément quand ces éléments sont connus (6). Mais ce calcul n'est pas nécessaire pour le tracé des routes forestières. Le tableau 36 donne des valeurs approximatives de la déviation des semi-remorques chargées de diverses longueurs pour des courbes de différents rayons. L'ensemble normal, composé d'un tracteur et d'une remorque, dévie moins que les semi-remorques correspondantes.

Les valeurs du tableau 36 représentent la surlargeur à prévoir pour la chaussée d'une route à voie unique ou pour chaque voie d'une route à deux voies. Cette surlargeur doit être raccordée graduellement à chaque extrémité de la courbe.

TABLEAU 36

DEVIATION[1/] APPROXIMATIVE DES SEMI-REMORQUES DANS DES COURBES

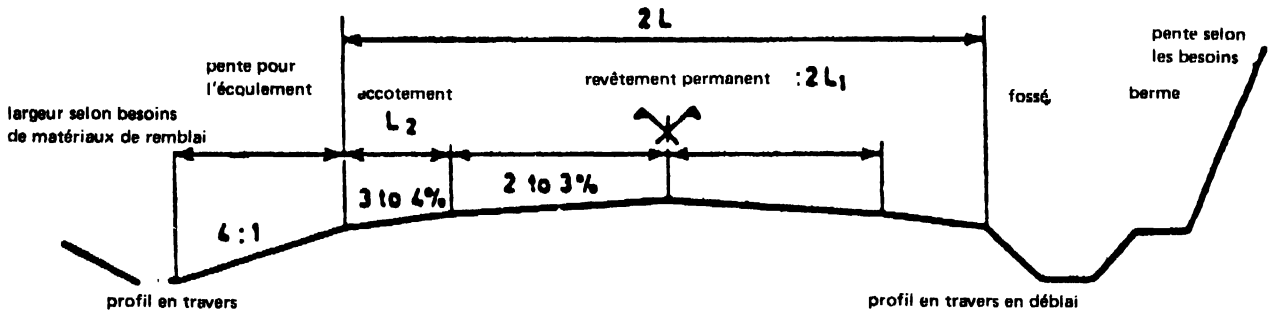
Longueur hors-tout du véhicule chargé en mètres	Rayon de courbure			
	40 m	50 m	100 m	150 m
12	0,60	0,40	0,20	0,05
13	0,75	0,55	0,25	0,075
14	0,90	0,69	0,34	0,20
15	1,05	0,82	0,42	0,27
16	1,20	0,96	0,50	0,33
17	1,35	1,10	0,58	0,40
18	1,50	1,25	0,67	0,48
19	1,65	1,38	0,73	0,55
20	1,80	1,52	0,82	0,62

1/ Les valeurs sont exprimées en mètres.

2. Bombement et divers

Les routes principales et secondaires doivent être bombées pour assurer le drainage. La pente normale du bombement sur les routes revêtues de gravier est de 2 ou 3 pour cent quand le revêtement est compact et lisse (3) (7) et de 4 à 5 pour cent lorsqu'il est grossier et rugueux (3).

La figure 11 illustre un profil en travers type, conforme aux recommandations d'Odier, Millard, dos Santos et Mahra (7).



	terrain plat, ondulé ou de colline			terrain montagneux		
	2L m	2L1 m	L2 m	2L m	2L1 m	L2 m
routes principales	10-13	6-7 5	≥ 2 0	8-10	6-7 5	≥ 10
routes secondaires	10-12	6-6 8	≥ 2 0	8-9	6-6 8	≥10
routes d'alimentation	7 5-8 0	5 5-6 0	≥1 0	7 5-8 0	5 5-6 0	≥10

Les courbes horizontales doivent être relevées pour compenser la force centrifuge qui s'exerce dans le virage. Le dévers doit intéresser toute la largeur de la route. Pour une courbe donnée, il dépendra de la vitesse des véhicules et du coefficient de friction pour le dérapage: plus grande sera la vitesse dans une courbe donnée, de coefficient connu, plus important doit être le dévers.

Il ne doit jamais être suffisant pour faire glisser vers le fossé interne les véhicules à l'arrêt ou pas. Mais il doit cependant être suffisant pour éviter que la force centrifuge qui s'exerce sur un véhicule en déplacement ne le fasse déraper vers le côté relevé. Le dévers ne doit jamais dépasser 10 cm par mètre (0,10 ou 10 pour cent) (7); sur les routes forestières du nord, enneigées ou verglacées en hiver, ou bien lorsque la route est glissante, le dévers ne doit pas dépasser 0,05 ou 5 pour cent (3); dans certains cas, pour des raisons de sécurité, il faut éviter de relever le virage et réduire en conséquence la vitesse.

Le rapport entre la vitesse nominale, le rayon de virage, le dévers et le coefficient de friction pour le dérapage latéral est exprimé par la formule ci-dessous (7):

$$V = \sqrt{127 \times R\ (e \pm fs)}$$

où:

V = vitesse nominale en km/h;

R = rayon de virage en mètres;

e = dévers (exprimé sous forme d'un coefficient décimal;

fs = coefficient de friction pour le dérapage latéral.

Le coefficient de friction pour le dérapage latéral varie légèrement selon la vitesse du véhicule. Les valeurs à utiliser dans la formule figurent au tableau 37. Certains recommandent d'adopter pour la formule une valeur uniforme de 0,15 ou 0,16.

TABLEAU 37

COEFFICIENTS DE FRICTION fs POUR LE DERAPAGE LATERAL

Vitesse nominale de sécurité en km/h	Coefficients fs
20	0,17
40	0,16
60	0,15
80	0,14
100	0,13

Les routes d'alimentation ne sont généralement ni bombées ni relevées car les véhicules doivent y circuler à faible vitesse.

3. Distances de visibilité

La visibilité doit être suffisante pour que le conducteur ait le temps d'arrêter son véhicule lorsqu'il voit un obstacle sur la voie. Cela est particulièrement important quand les animaux sont admis sur la route. La distance de visibilité correspondant aux vitesses prévues doit être respectée tout le long de la route; si, exceptionnellement, la topographie ou d'autres causes empêchent de s'y tenir, la vitesse des véhicules doit être limitée sur les tronçons hors-norme. La visibilité de dépassement n'est pas importante dans le tracé des routes forestières. La visibilité est prise en considération aussi bien pour les courbes horizontales que pour les cassis et les dos d'âne, mais ce sont les courbes horizontales qui sont surtout importantes dans le tracé des routes forestières.

La distance de visibilité de base est la somme de l'espace couvert par le véhicule entre le moment où le chauffeur voit l'obstacle et le moment où les freins commencent à agir et de la distance d'arrêt; elle dépend de la vitesse, de la pente, du coefficient de traction et du temps de réaction du conducteur. Elle peut être estimée en appliquant la formule ci-dessus (3):

$$SD = 1,257 + \frac{V^2}{255\ (f \pm g)}$$

où:

SD = distance de visibilité en mètres;

V = vitesse en km/h;

f = coefficient de traction;

g = pente (exprimée sous forme d'un coefficient décimal).

On trouvera les coefficients de traction à utiliser dans cette formule au tableau 38. Ainsi, sur une route où la vitesse nominale est de 50 km/h, dans une descente de 2 pour cent avec un coefficient de traction de 0,20 sur route glissante, la sécurité exige une visibilité d'au moins 117 mètres le long de la ligne médiane de la voie parcourue.

Sur une route à voie unique, s'il y a une circulation dans les deux sens, il faut doubler la distance d'arrêt calculée selon la formule ci-dessus pour permettre aux deux véhicules de s'arrêter sans danger.

Les accidents topographiques ou des problèmes de construction empêchent parfois d'assurer la distance de visibilité correspondant à la vitesse voulue. Dans ce cas, si l'on veut assurer une sécurité maximum, il faut limiter la vitesse sur certains tronçons et l'indiquer par des panneaux appropriés.

TABLEAU 38

COEFFICIENT DE TRACTION OU DE FRICTION POUR LES PNEUS EN CAOUTCHOUC SUR DIVERS TYPES DE SURFACES DE ROUTE

Surface de la route	Coefficient de traction statique
Béton (ciment Portland)	0,70
Béton enrobé	0,60
Gravier tassé	0,60
Sol ferme	0,50
Sable	0,15 - 0,40
Boue	0,15 - 0,40
Neige tassée	0,20 - 0,25
Neige tassée et sablée	0,33
Neige, 2", sèche, poudreuse, sur gravier	0,30
Neige, 1", sèche, poudreuse, sur verglas	0,25
Verglas sans neige	0,12

4. Pentes

Sur les routes forestières, les montées doivent être limitées de façon à permettre aux véhicules de maintenir la vitesse prévue, aussi bien en charge qu'à vide, sans déraper; les descentes ne doivent pas être trop raides, pour permettre le contrôle du véhicule en tout temps. On s'efforcera de limiter la pente maximum des routes primaires à 6 pour cent, des routes secondaires à 8 pour cent et des routes d'alimentation à 10 pour cent. On trouvera au tableau 39 certaines caractéristiques nominales recommandées pour les routes primaires, secondaires et d'alimentation dans divers types de terrain selon les suggestions d'Odier, Millard, dos Santos et Mahra (7). Les auteurs ont classé les routes en routes primaires, secondaires et d'alimentation, mais leurs définitions concernent des zones habitées. On pense toutefois que les données du tableau peuvent servir au tracé des routes forestières.

TABLEAU 39

SPECIFICATIONS DES ROUTES DANS DIFFERENTS TYPES DE TERRAIN

Caractéristiques des routes	Terrain	Vitesse nominale en km/h	Rayon minimum des courbes en m	Pente maximum en pourcentage	Longueur maximum des pentes en m	Largeur de la plate-forme (chaussée et accotement) en m	Largeur de la chaussée
Principales	Plat ou ondulé	80–110	190–360	4	None	10–13	6–7 5
	Colline	55–80	90–190	5–7	600 over 4%	10–13	—
	Montagne	40–55	50–90	7–9	400 over 6%	8–10	—
Secondaires	Plat ou ondulé	60–80	110–190	5	None	10–12	6–6 8
	Colline	50–60	75–110	5–7	None	10–12	—
	Montagne	35–50	35–75	7–9	750 over 6%	8–9	—
Routes d'alimentation	Plat ou ondulé	50–60	75–110	7	None	7·5–8	5 5–6
	Colline	35–50	35–75	7–9	None	7·5–8	—
	Montagne	25–35	30–35	9–12	1 000 over 9%	7·5–8	—

1/ Les rayons minimums figurant au tableau sont prévus pour un dévers de 10 pour cent et un coefficient de force centrifuge de 0,16.

Les spécifications du tableau ne sont pas nécessairement valables pour toutes les routes forestières. Par exemple, les routes d'alimentation sur sols fermes atteignent rarement 7,5 à 8 mètres de large; la largeur est généralement celle d'une lame de bulldozer. Mais le tableau donne beaucoup de renseignements utiles.

En montée, les roues dérapent quand l'effort de traction dépasse le coefficient de friction de la surface de la route (6). L'effort de traction exprimée en kg est l'effort transmis par la jante aux pneus tel qu'il s'exerce au point de contact avec le sol. Sa valeur dépend du couple du moteur, des rapports de la boîte de vitesse, de l'efficacité de la conduite et du rayon des pneus en charge. Elle peut être calculée. La friction, également exprimée en kg, est le produit du coefficient de traction et de la charge sur les roues motrices.

La pente maximum qui peut être montée sans dérapage, parfois appelée pente critique, dépend du coefficient de traction et de la proportion du poids brut du véhicule ou de l'ensemble qui est supportée par les roues motrices. Sa valeur peut être estimée approximativement au moyen de la formule (6):

$$GR = \frac{f \times AW \times 100}{GW}$$

où:

GR = pente en pourcentage;

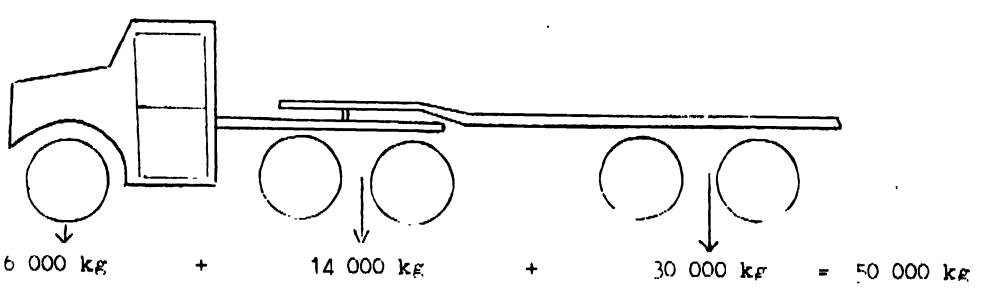
f = coefficient de traction (cf. tableau 38);

AW = poids en kg sur les roues motrices;

GW = poids bruts en kg du véhicule ou de l'ensemble.

Par exemple, pour une semi-remorque à 5 essieux, le poids brut est de 50 tonnes; le poids étant réparti comme sur la figure, si le coefficient de traction est de 0,20, la montée maximum se calcule suivant la formule ci-dessous:

$$\frac{0{,}20 \times 14\,000 \times 100}{50\,000} = 5{,}6\ \%$$



Si la route comporte des montées de plus de 5,6 pour cent, il faut prévoir soit un meilleur revêtement, c'est-à-dire un revêtement ayant un coefficient de traction plus élevé, soit un véhicule dans lequel les roues arrières du tracteur supportent plus de 14 000 kg lorsque le véhicule est en charge.

En hiver, dans les forêts du nord, la traction peut être améliorée si les pistes sont sablées; dans les forêts tropicales, la seule façon d'améliorer le coefficient de traction est d'utiliser un matériau de revêtement plus granulaire. Dans l'exemple ci-dessus, 28 pour cent seulement du poids brut repose sur les roues motrices; or, ce pourcentage devrait être proche de 40 pour cent. Le véhicule à vide a souvent beaucoup de mal à gravir une montée

pour la même raison, c'est-à-dire parce qu'une trop faible partie du poids repose sur les roues motrices et que le coefficient de traction est trop faible. Les remèdes sont les mêmes que pour le véhicule en charge: améliorer la traction ou faire porter plus de poids sur les roues motrices, par exemple en chargeant la remorque sur le tracteur pour le retour à vide.

Une autre façon d'accroître le poids reposant sur les roues motrices est de coupler le moteur à l'essieu avant du tracteur ou à un ou plusieurs des essieux de la remorque. Mais cela accroît le prix d'achat du véhicule, les coûts de fonctionnement et d'entretien et donc de transport; c'est donc une solution à éviter si possible.

Les forces à surmonter en montée - roulement, pente, résistance de l'air, inertie et autres résistances - ralentissent le véhicule aussi en descente (6). Il faut donc y penser lorsqu'on étudie les freins et les autres dispositifs permettant de maîtriser le véhicule en descente. Cette question dépasse le cadre du présent ouvrage. Mais l'ingénieur routier doit tenir compte de tous ces facteurs, en consultant l'ingénieur du matériel et la personne responsable d'organiser les livraisons de bois.

5. Emprise

La largeur optimale à débrousser pour une route forestière rectiligne est indiquée au tableau 40. Il faut prévoir au besoin une surlargeur suffisante à l'intérieur des courbes horizontales pour assurer la visibilité correspondant aux vitesses voulues. Les considérations géométriques sont illustrées à la figure 12 (3). La distance de visibilité le long de la ligne médiane de la voie intérieure peut se calculer comme il est indiqué à la section 3 de l'annexe C et la distance à respecter entre cette ligne et l'obstacle peut être calculée selon la formule ci-dessous (3):

$$M = \frac{5\ 730}{D} \quad (\text{vers } \frac{SD}{200})$$

où:

M = distance entre la ligne médiane de la voie intérieure et l'obstacle;

D = degré de la courbe horizontale;

S = distance de visibilité (en pieds) le long de la ligne médiane de la voie intérieure.

TABLEAU 40

LARGEUR RECOMMANDEE DE L'EMPRISE (LARGEUR DEBROUSSEE)

Vitesse nominale en km/h	Largeur de l'emprise en mètres
30	20
40	22
50	25
60	27
70	30
80	33
90	35
100	38

Cependant, la largeur de l'emprise indiquée au tableau 40 doit être considérée comme une simple orientation. S'il y a des déclivités abruptes ou des rochers à l'intérieur du virage, le coût peut être exorbitant; dans ce cas, on limitera la vitesse et on disposera des panneaux appropriés. En outre, il peut être souhaitable de conserver la végétation sur les pentes abruptes pour stabiliser le sol ou pour des raisons esthétiques.

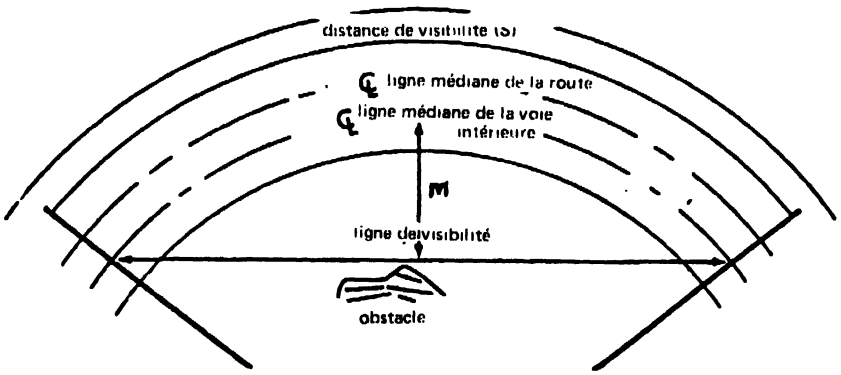


Figure 12 croquis indiquant la largeur minimum à débrousser dans les courbes horizontales pour assurer une visibilité de sécurité.

Dans les pays tropicaux et dans les forêts caducifoliées des pays tempérés où les cimes sont larges, il faudra élargir l'emprise chaque fois que cela est nécessaire pour permettre au soleil de sécher la chaussée. Par contre, si la route est tracée en terrain très sableux, la bande arasée doit être plus étroite, de façon à conserver l'humidité.

Dans le nord, là où la neige soufflée pose des problèmes en hiver, il faudra réduire l'emprise en terrain exposé et laisser une bande de forêt de 30 à 40 m de large quand l'exploitation se fait à blanc étoc, généralement de part et d'autre de la route. En été, ces bandes peuvent aussi réduire la poussière et servir de coupe-feux en cas d'incendie, ainsi que de point de départ pour la lutte contre le feu. Cependant, ces bandes, de même que l'ouverture de passages excessivement larges dans la forêt de résineux des zones tempérées, exposent le peuplement au chablis et pour certaines essences, telles qu'Abies balsamea dans l'est de l'Amérique du Nord, aux brûlures du soleil.

Dans les peuplements artificiels, la largeur de l'emprise peut dépendre d'autres considérations encore: ainsi, pendant la plantation et l'entretien de la plantation, la plupart des routes n'ont pas besoin d'être larges et ne doivent pas supporter de charges très lourdes; de nombreuses routes de plantation deviennent à peu près permanentes après la première révolution; il est parfois souhaitable d'utiliser la zone au maximum et en particulier, dans le cas des plantations de pins, de prévoir des voies anti-incendies.

ANNEXE D

DENSITE DES ROUTES D'ALIMENTATION

Les routes d'alimentation constituent les ramifications du réseau au-delà des routes secondaires; elles pénètrent jusqu'aux dépôts secondaires où les débardeurs, forwarders, [illegible] regroupent le bois récolté, et parfois même jusqu'aux dépôts primaires situés dans la [illegible]. Pour un engin de débardage donné, il existe une densité (m/ha) ou un espacement optimaux qui sont atteints lorsque la somme des coûts de construction des routes d'alimentation et des coûts de débardage est la plus faible. Pour cela, il faut que la partie du coût de débardage qui correspond au déplacement de l'engin soit égale au coût de la construction et de l'entretien de la route d'alimentation pendant la période où elle est en usage, ces deux coûts étant rapportés au mètre cube de bois.

Dans des conditions idéales, en terrain plat ou vallonné, si les routes d'alimentation sont droites et parallèles et si le débardage se fait de part et d'autre sur une même distance et perpendiculairement à la route, et si la charge est déposée au moment où la route est atteinte, la distance moyenne de débardage est le quart de l'espacement des routes d'alimentation. Mais il est rare que cette situation se vérifie en pratique. Parfois, une route d'alimentation suit le bord d'un marécage, d'un lac, d'un cours d'eau, d'un autre accident topographique, de sorte que le débardage ne se fait que d'un côté de la route. Dans ces conditions, moins de bois est transporté sur la route qui, par conséquent, coûte plus par mètre cube; la distance moyenne et par conséquent le coût du débardage sont supérieurs.

1. Espacement optimal des routes d'alimentation

Si c'est la densité du réseau routier, exprimée en m/ha, qui est le concept le plus souvent employé pour calculer le coût des routes d'alimentation par m^3 de bois, la notion d'espacement est au contraire plus pratique pour l'ingénieur qui fait le plan d'un réseau de routes d'alimentation dans une forêt à exploiter.

L'espacement optimal des routes d'alimentation (ORS) peut se calculer selon la formule ci-dessous:

$$ORS = k \sqrt{\frac{40 \times R \times L}{q\ c\ t\ (1 + p)}}$$

où:

ORS = espacement optimal des routes d'alimentation exprimé en mètres;

R = coût de construction et d'entretien de la route d'alimentation en dollars E.-U. par kilomètre;

L = charge moyenne du débardeur ou forwarder en m^3;

q = quantité de bois récolté en m^3/ha;

c = coût de fonctionnement du débardeur ou du forwarder, y compris le conducteur, en dollars E.-U. par minute;

t = temps (en minutes) employé par le débardeur ou le forwardeur pour faire 1 mètre en charge et retourner à vide;

k = coefficient de correction dont la valeur est de 1,0 dans les conditions idéales décrites ci-dessus, quand le débardage se fait à une même distance de part et d'autre de la route d'alimentation et de 0,71 ou $\sqrt{0,50}$ quand il se fait d'un côté seulement; un tel coefficient doit être appliqué aussi chaque fois que les routes d'alimentation sont sinueuses ou forment des embranchements ou des culs-de-sac;

p = coefficient de correction dont la valeur est généralement comprise entre 0 et 0,50, à appliquer lorsque les pistes de débardage sont sinueuses ou n'aboutissent pas au point le plus proche sur la route d'alimentation ou bien quand on doit prévoir des retards dus à la portance insuffisante des sols, à la longueur de la charge qui dépasse, etc.

On notera que l'espacement calculé avec la formule ci-dessus doit être considéré comme approximatif en raison de l'imprécision de plusieurs des facteurs. Par exemple, si la formule donne un espacement optimal de 400 mètres, un espacement compris entre 350 et 450 m donnera des résultats tout à fait satisfaisants. Cela donne une certaine latitude pour choisir le tracé des routes d'alimentation de façon à éviter les obstacles qui pourraient accroître les coûts de construction.

Si l'on examine la formule de détermination de l'espacement optimal des routes d'alimentation, on observera que, si la quantité de bois récolté à l'hectare est multipliée par 4, l'espacement optimal est divisé par deux: en conséquence (a) on aura deux fois plus de routes, mais pour un coût moitié moindre par mètre cube transporté, et (b) les distances de débardage seront divisées par deux, réduisant d'autant la part du coût du débardage qui correspond au déplacement de l'engin, d'où une réduction du coût global d'exploitation.

Pierre-Yves Perrin a mis au point un système sur ordinateur permettant de comparer diverses solutions possibles, tant pour le tracé du réseau que pour les normes des routes et leur espacement (14).

2. Densité optimale des routes d'alimentation

Ayant déterminé l'espacement optimal des routes d'alimentation selon la méthode ci-dessus, on trouvera la densité optimale en appliquant la formule suivante:

$$ORD = \frac{10\ 000}{ORS}$$

où:

ORD = densité optimale des routes d'alimentation en m/ha;

ORS = espacement optimal des routes d'alimentation en mètres.

La densité optimale peut également être trouvée directement par la formule ci-dessous:

$$ORD = 50\sqrt{\frac{q\ c\ t\ \times 1\ 000 \times T \times V}{R \times L}}$$

où:

ORD = densité optimale des routes d'alimentation en m/ha;

q = volume récolté à l'hectare en m^3;

c = coût de fonctionnement du débardeur ou forwarder, y compris le conducteur, en dollars E.-U./minute;

t = temps en minutes employé par le débardeur ou forwarder pour parcourir un mètre en charge et retourner à vide;

T = coefficient de correction normalement compris entre 1,0 et 1,5, correspondant au coefficient k dans la formule de l'ORS ci-dessus;

V = coefficient de conversion normalement compris entre 1,0 et 2,0, correspondant au coefficient p dans la formule de l'ORS ci-dessus;

R = coût de la construction et de l'entretien des routes d'alimentation en dollars E.-U./km;

L = charge moyenne du débardeur ou du forwarder en m^3.

Plusieurs autres publications étudient la densité ou l'espacement optimaux des routes d'alimentation (1) (2) (13).

3. Distance moyenne de débardage

Dans la forêt idéale, la distance moyenne de débardage s'exprime par la formule de Segebaden (17):

$$Mg = \frac{2,5}{V}$$

où:

Mg = distance moyenne de débardage en km;

V = densité des routes d'alimentation en m/ha.

Si l'on reprend les symboles définis dans les sections 1 et 2 de la présente annexe, la formule s'exprime comme suit:

$$ASD = \frac{2,5 \times 1\ 000}{ORD}$$

où:

ASD = distance moyenne de débardage en m, soit 1 000 Mg;
ORD = densité optimale des routes en m/ha = V.

Lorsque les conditions ne sont pas idéales, il faut incorporer dans la formule les coefficients de correction définis plus haut, et l'on a alors:

$$ASD = \frac{2,5 \times T \times V \times 1\ 000}{ORD} \quad \text{ou} \quad \frac{T \times V \times ORS}{4}$$

où:

ASD = distance moyenne de débardage en mètres;

ORD = densité optimale des routes d'alimentation en m/ha;

ORS = espacement optimal des routes d'alimentation en mètres;

T et V = coefficient de correction défini dans la section 2 ci-dessus.

4. Calcul du coût des routes d'alimentation

Les coûts de construction et d'entretien d'une route d'alimentation imputables à l'exploitation peuvent être calculés en appliquant la formule:

$$RC = \frac{R \times RD}{1\ 000\ q}$$

où:

RC = coût de la route d'alimentation en dollars E.-U./m^3;

R = coût de la route d'alimentation en dollars E.-U./km;

RD = densité du réseau en m/ha;

q = quantité de bois transporté en m^3/ha.

5. Estimation de l'élément du coût du débardage qui correspond au déplacement

L'élément du coût du débardage qui correspond au déplacement peut être calculé en appliquant la formule:

$$TC = \frac{ASD \times c \times t}{L}$$

où:

TC = coût en dollars E.-U./m^3 de l'engin de débardage en déplacement;

ASD = distance moyenne de débardage en mètres;

c = coût de fonctionnement des engins de débardage, y compris le conducteur, en dollars E.-U./minute;

t = temps moyen en minutes employé par l'engin de débardage pour parcourir un mètre en charge et revenir à vide;

L = charge moyenne de l'engin de débardage en m^3.

Si l'espacement (ou la densité) des routes d'alimentation est optimal, le coût ainsi calculé doit être égal au coût des routes d'alimentation calculé comme dans la section 4 et on aura réduit au minimum le coût global des deux opérations. Si ces conditions ne sont pas réalisées, le coût global sera plus élevé.

6. Routes d'alimentation et optimisation du coût global d'exploitation

On évoque ci-dessus le coût minimal global du débardage, de la construction et de l'entretien des routes d'alimentation. Dans toute opération forestière, l'objectif est en définitive de réduire au minimum le coût du bois au dépôt final. On a montré que les grandes routes de transport doivent répondre à des normes suffisantes, c'est-à-dire que si les routes sont bonnes, on risque moins de perdre sur l'opération.

Mais quand on en vient aux routes d'alimentation, on cherche surtout à ce que le coût global du bois, une fois amené au point où la route d'alimentation débouche sur la route secondaire, soit réduit au minimum. Ce coût minimal est atteint lorsque les trois éléments ci-dessous exprimés sur les mêmes bases, par exemple ramenés au mètre cube de bois, s'équilibrent.

a) construction et entretien des routes d'alimentation;

b) élément du coût du débardage correspondant au déplacement;

c) élément du coût du transport sur la route d'alimentation correspondant au déplacement.

Cette question est examinée de façon assez détaillée au chapitre 4 et à l'annexe 3 de la publication FAO "Harvesting Man-Made Forests in Developing Countries" (2).

7. Considérations sur l'évaluation du coût des machines

Le coût de fonctionnement des débardeurs, forwarders, camions et remorques, tracteurs et autres équipements mobiles mentionnés dans cette annexe doit comprendre le coût des opérateurs.

Pour les camions et les remorques, le coût horaire doit être estimé séparément pour les heures d'attente et pour les heures de roulage (celles-ci pouvant coûter trois fois plus cher que celles-là). La différence est due au fait que les coûts de carburant, lubrifiants, réparations et entretien ne s'accumulent que lorsque le véhicule se déplace, Si, pour le déplacement proprement dit,on évalue les coûts sur la base de l'heure de roulage, c'est qu'on admet implicitement que le coût unitaire du transport est inversement proportionnel à la vitesse, et que donc si celle-ci double, le coût du transport est divisé par deux. Les camions doivent être équipés de tachigraphes pour déterminer les heures d'attente et les heures de roulage, la vitesse du véhicule, etc.

Pour les engins de débardage, il faut aussi, en principe, établir cette distinction; mais c'est beaucoup moins important, car normalement les moteurs de ces engins tournent pendant le chargement et le déchargement pour actionner un treuil ou un mécanisme de chargement quelconque. C'est pourquoi, pour évaluer le coût de fonctionnement de ces machines, on utilise généralement un compteur indiquant les heures de fonctionnement du moteur (horomètre).

Les méthodes d'évaluation du coût des machines sont décrites de façon exhaustive à l'annexe H ainsi que dans un certain nombre de publications (1) (2) (10) (11) (12).

ANNEXE E

COMPARAISON DES INDICES DE PRODUCTIVITE, PRIX D'ACHAT ET COUTS HORAIRES DES TRACTEURS A CHENILLES EQUIPES DE LAME-S, CABINE DE PROTECTION ET TREUIL

Plusieurs sociétés fabriquent des tracteurs à chenilles de modèles divers et les distribuent dans le monde entier. Le prix d'achat, les coûts de fonctionnement et la productivité de ces machines, équipées de cabines de sécurité, de lame-S et de treuil, dépendent de leur puissance, mais ne varient guère d'une marque à l'autre. Le graphique de la figure 13 donne une approximation du prix d'achat, des coûts de fonctionnement (opérateur non compris) et de la productivité relative de machines de diverses puissances. Il est intéressant de noter que la même droite représente les trois relations.

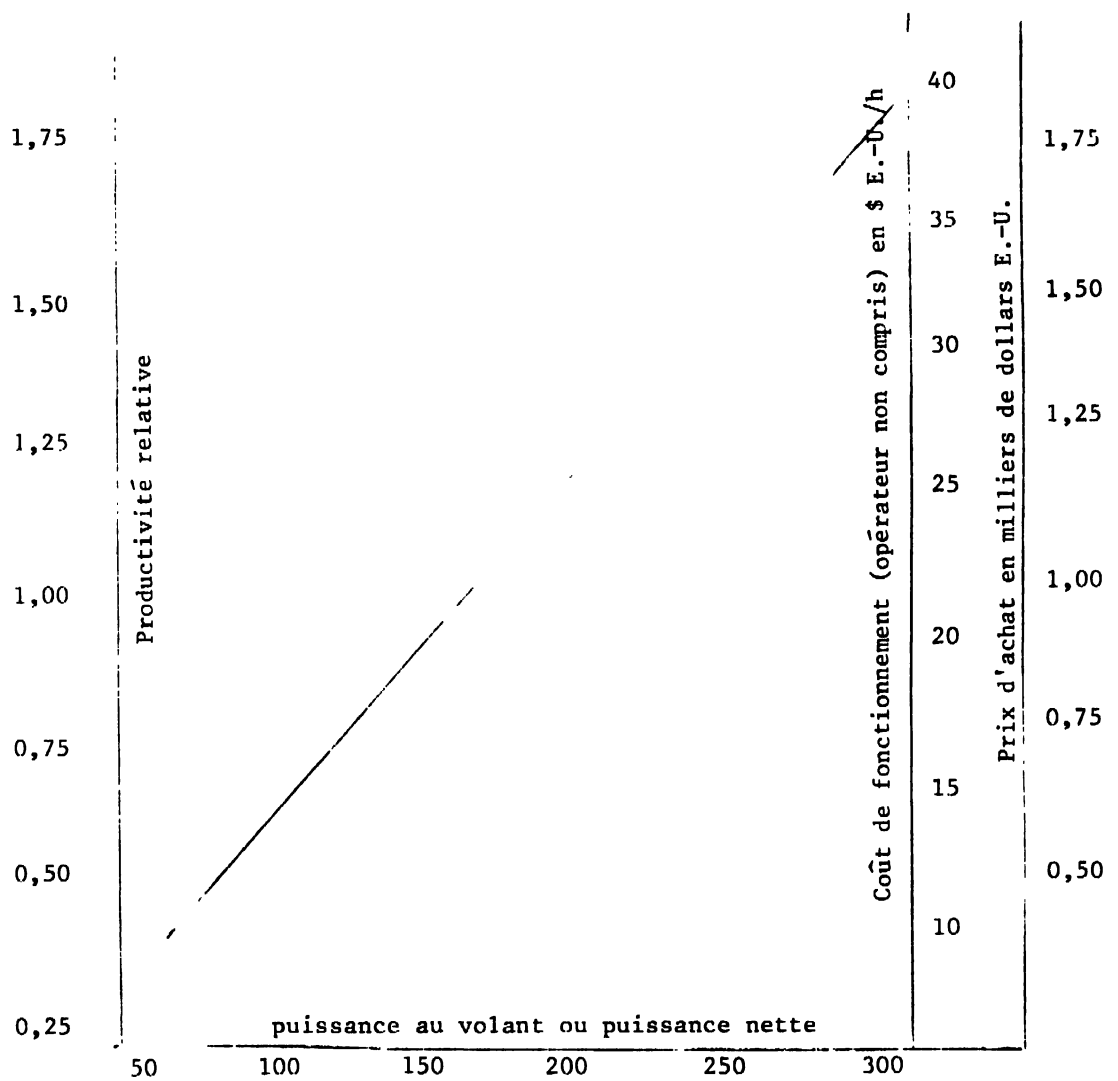


Figure 13 Représentation graphique de la relation entre la puissance du tracteur, la productivité, le prix d'achat et le coût horaire de fonctionnement pour des tracteurs à chenilles à transmission hydraulique équipés de lame-S, cabine de protection et treuil.

Explications du graphique:

a) Prix d'achat en dollars E.-U.; on postule que le matériel n'est pas grevé de droits d'importation anormaux;

b) Le prix d'achat comprend la lame-S, la cabine de protection et le treuil; il va de 5 dollars E.-U. le kg à 6 dollars E.-U. le kg; il peut atteindre 6 dollars E.-U. pour les petites machines de 75 à 125 ch et tomber à 5 dollars E.-U. pour celles de 275 à 300 ch;

c) Les modèles à transmission mécanique coûtent environ 5 pour cent de moins que les modèles correspondants à transmission hydraulique figurant sur le graphique;

d) La productivité relative représentée sur le graphique s'applique aux modèles à transmission hydraulique; pour les modèles correspondants à transmission mécanique, compter environ 15 pour cent de moins;

e) Le coût de fonctionnement approximatif par heure, calculé sur la base du compteur du moteur, comprend l'amortissement, l'intérêt, l'assurance, le carburant, les lubrifiants, les réparations, le service, mais ne comprend ni le traitement, ni les avantages marginaux de l'opérateur;

f) Le rapport poids-puissance des tracteurs à chenille, c'est-à-dire leur poids rapporté à la puissance nette ou à la puissance au volant, est généralement compris entre 110 kg et 125 kg par ch;

g) Des tracteurs à chenille standard avec tout leur équipement exercent généralement sur le sol une pression comprise entre 0,5 kg/cm^2 et 0,7 kg/cm^2; certains fabricants ont mis au point des modèles pouvant atteindre 175 à 200 ch exerçant une faible pression, à utiliser sur les sols à faible portance. Ils ont des châssis de chenille plus longs et des semelles de chenille plus larges et, avec tout l'équipement, leur pression sur le sol n'est qu'environ la moitié de celle des machines standards. Ils pèsent 15 à 20 pour cent de plus que les tracteurs standards et la différence de prix s'accroît avec la puissance: elle va de 5 pour cent pour les modèles de 75 ch à 15 pour cent pour les modèles de 180 à 200 ch.

ANNEXE F (4)

STABILISATION DE LA COUCHE DE FONDATION A LA CHAUX

Feuille de données pour la chaux éteinte

Longueur totale traitée:	1 956 miles.
Objectif:	Stabilisation de la sous-couche argileuse.
Sols:	Argile - type CL (système unifié).
Application:	Proportions - 4 et 5 pour cent de chaux en poids. Procédure - Après une scarification soigneuse de l'argile, la chaux est appliquée et abondamment arrosée sur place. Les matériaux sont mélangés avec soin, puis légèrement compactés et, après un temps de repos de 3 jours, ils sont remélangés, de nouveau arrosés et compactés à 95 pour cent degré Proctor. Ils reposent ensuite pendant 7 jours.
Coût par mile:	Non indiqué: Coût par yard carré: 0,50 $ E.-U.
Avantages:	a) le sol a perdu sa plasticité; b) la flèche de la déflection Benkelman a été réduite de près de 50 pour cent; c) le taux de portance (Californie) a été accru de près de 450 pour cent; d) la teneur en argile a été réduite dans un cas de 86 pour cent.
Inconvénients:	On a noté des dégradations sur un tronçon, mais on pense qu'elles sont dues à l'insuffisance de la couche de gravier revêtant la couche stabilisée.
Remarques supplémentaires;	a) Les avantages de la stabilisation à la chaux deviennent sensibles avec le temps; b) La durabilité du traitement dans les conditions réelles du gel et du dégel sont encore à l'étude.

Cas nº 11 — Décembre 1968

Agent de stabilisation:	Chaux éteinte
Date d'application	1966
Emplacement:	Québec du Sud (grandes routes publiques)
Longueur traitée:	691 miles
Objectif:	Stabilisation de la sous-couche argileuse
Sol:	Classification - type CL (système unifié)

Caractéristiques physiques:	Limite de liquidité	45,7 %
	Indice de plasticité	23,2 %
	Taux de retrait	40,5 %
	Teneur des eaux à l'état naturel	27,7 %

Caractérostoqies de la route: Il s'agissait en partie d'une nouvelle construction et en partie de la remise en état d'une route existante.

La couche stabilisée a une épaisseur totale de 18 cm et se compose de la couche de base et du revêtement d'asphalte.

Le fond des fossés est à un niveau plus bas que la base de la couche stabilisée.

Application: Proportion - d'après les essais de laboratoire, 4 pour cent de chaux (en poids) est une proportion optimale. C'est celle qui a été appliquée sur le terrain (on a fait des vérifications en mesurant le pH).

Procédure:

a) L'argile a été prélevée dans des emprunts voisins et disposée sur la route en couches de 15 cm après compaction. On l'a laissé reposer pendant deux mois sans circulation.

b) L'argile a été scarifiée soigneusement immédiatement avant la stabilisation.

c) La chaux, en sacs, a été répandue uniformément sur l'argile; puis on a arrosé pour maintenir le mélange humide. Quand la mesure du pH montrait que la teneur en chaux était insuffisante, on en ajoutait.

d) On a utilisé un mélangeur pour bien mélanger l'eau, la chaux et l'argile, puis on a légèrement compacté le tout avec un rouleau à pneus.

e) Après une période de repos de 3 jours, le sol et la chaux ont été remélangés avec un mélangeur et on a de nouveau arrosé.

f) Le mélange a été de nouveau compacté à 95 pour cent degré Proctor; pour finir, on a passé un rouleau à roues lisses.

g) On a laissé le tout au repos pendant 7 jours, avec une légère application de bitume (0,25 gallon par yard carré) pour retenir l'humidité.

Coût par mile: Non indiqué. Le coût au yard carré, tout compris, est de 0,50 $ E.-U.

Effets

Avantages:

a) L'indice de plasticité est tombé à 0.

b) La teneur en argile a été réduite de 86 pour cent et la teneur en limon accrue de 56 pour cent.

c) Le taux de retrait a été réduit à 21,3 pour cent.

d) La flèche de déflection Benkelman est tombée de 0,095 pouce à 0,050 pouce en deux semaines.

e) Le taux de portance (Californie) est augmenté de 10,3 pour cent à 45 pour cent en 34 jours.

Inconvénients: Aucun inconvénient n'a été signalé.

Observations: Les avantages résultant de la stabilisation à la chaux se font sentir graduellement. La durabilité à long terme du traitement est encore à l'étude. Les ingénieurs considèrent maintenant qu'on a adopté des normes trop élevées pour la route.
La portance a augmenté depuis la fin de la construction.
La flèche de la déflection Benkelman est encore faible.

Exemple n° 12 10 novembre 1968

Agent de stabilisation: Chaux éteinte.

Date d'application: 1966.

Emplacement: Québec du Nord-Ouest.

Longueur des routes traitée: 2 tronçons 700 yards.

Objectif: Stabilisation de la sous-couche d'argile.

Sol: Classification - argile A-7-5 (système A.A.S.H.O.).
Caractéristiques physiques: Indice de plasticité: 20.

Caractéristiques de la route: Route de transport de 32 pieds de large appartenant au Department of Lands and Forests.

Application: Proportion -

a) un tronçon, 4 pour cent de chaux (en poids);

b) l'autre tronçon, 5 pour cent de chaux (en poids).

Spécifications techniques -

a) Base - véhicules de 70 000 livres de poids brut.

b) 4 pour cent de chaux - le système classique comprend une épaisseur totale de 22 pouces de gravier sur la couche de fondation. En fait, on a appliqué 12 pouces de gravier sur 6 pouces d'argile stabilisée à la chaux.

c) 5 pour cent de chaux - le système classique comprend une épaisseur totale de 22 pouces de gravier sur la couche de fondation. En fait, on a utilisé 6 pouces de gravier sur 8 pouces d'argile stabilisée à la chaux.

Procédure -

a) Là où il s'agissait d'une construction nouvelle, il a fallu creuser les fossés et former la route; le profil a été formé avant le traitement.

b) La chaux a été répandue sur la zone à traiter, dans les proportions spécifiées; elle a ensuite été mélangée intimement au sol avec adjonction d'eau pour assurer l'humidité optimale.

c) Après compaction mécanique, les tronçons ont été recouverts pour éviter l'évaporation de l'eau; on a laissé le tout au repos pendant 7 jours avant de poursuivre les travaux.

Coût par mile: A l'étude.

Effets

Avantages:

a) La flèche de la déflection Benkelman sur le tronçon traité avec 4 pour cent de chaux était de 0,070 pouce en 1967 et de 0,070 pouce en 1968.

b) La flèche de la déflection Benkelman sur le tronçon traité à 5 pour cent de chaux était de 0,200 pouce en 1967 et 0,200 pouce en 1968.

Inconvénients:

Le tronçon traité avec 5 pour cent de chaux semble présenter certaines dégradations de surface.

Observations:

La dégradation sur le tronçon traité à 5 pour cent de chaux est sans doute due à l'épaisseur insuffisante de la couche de gravier plutôt qu'à la seule présence d'argile stabilisée.

Les véhicules qui empruntent actuellement ces routes ont un poids brut de 125 000 livres et 5 essieux seulement.

Normalement, l'épaisseur spécifiée pour une telle circulation serait de 32 à 36 pouces au total. Mais on n'a encore fait aucune modification pour permettre le passage de cette charge plus forte.

ANNEXE G (4)

STABILISATION DES ROUTES AU CHLORURE DE CALCIUM

Fiche de données pour le chlorure de calcium (à l'état solide)

Longueur totale traitée (en miles):	95 +
Objectifs:	Généralement lutte contre la poussière et/ou stabilisation de la surface.
Sols:	Typiquement graviers.
Application:	Proportions - 4 à 6 tonnes par mile; on cite un cas où environ 10 tonnes par mile ont été appliquées. Procédure - Pour étaler le matériel, on a généralement recours à un moment ou un autre à de l'eau. Pour mélanger, on emploie d'habitude une niveleuse.
Coût par mile:	481 à 771 dollars E.-U.; on cite un cas où le coût n'a pas dépassé 317 dollars E.-U.
Avantages:	a) La formation de poussière a été réduite. b) La chaussée est généralement devenue extrêmement dure, à tel point qu'elle ne peut être traitée à la niveleuse que par temps de pluie. En conséquence, dans la plupart des cas, les coûts normaux d'entretien sont substantiellement réduits. c) Certains indices portent à croire que les routes traitées résistent mieux au dégel que les routes non traitées. d) On obtient une surface plus lisse avec du gravier de meilleure qualité; le mieux est d'employer du matériel concassé.
Inconvénients:	a) Lorsque le gravier est mélangé avec une forte proportion de limon et d'argile, on signale que les routes traitées sont glissantes et dangereuses par temps de pluie.
Remarques supplémentaires:	a) Dans certains cas, il est nécessaire de bien laver le matériel d'épandage lorsqu'il doit rester un certain temps inutilisé pour éviter que les produits en s'agglomérant n'entraînent des avaries.

Fiche de données pour le chlorure de calcium (à l'état liquide)

Longueur totale traitée;	185 miles.
Objectifs:	Lutte contre la poussière et/ou stabilisation de la surface.
Sol:	Sable ou gravier.

Application: Proportions - de 3 tonnes à 15,8 tonnes/mile (dans ce dernier cas en 3 applications).

Procédure - un camion-citerne avec dispositif de dosage à pression est employé pour le traitement, généralement appliqué peu après nivelage et formation.

Coût par mile: De 240 à 455 dollars E.-U. pour une application; jusqu'à 835 dollars E.-U. pour des applications multiples.

Avantages:

a) La formation de poussière a été réduite.

b) La surface est généralement devenue extrêmement dure (et ne peut être nivelée que par temps de pluie). Dans la plupart des cas, on signale que les coûts normaux d'entretien ont été substantiellement réduits.

c) La perte annuelle de matériel de surface a été fortement réduite.

d) Il apparaît que les routes traitées supportent mieux le dégel que les routes non traitées.

e) La pénétration est meilleure que lorsque le chlorure de calcium est appliqué à l'état solide, et les avantages se font sentir presque immédiatement.

f) Il y a rarement eu formation de tôle ondulée.

g) Les dépôts provoqués sur les camions par les nids de poules ont été réduits.

Inconvénients:

a) Dans un cas, des trous se sont formés et un nivelage a été nécessaire au bout de deux semaines, après quoi la tôle ondulée est apparue.

b) Il est probable que des fortes pluies aussitôt après l'application réduiraient l'efficacité du traitement.

c) Dans certaines conditions, la surface peut devenir glissante quand elle est mouillée.

d) On a remarqué qu'il se forme un peu plus de rouille sur le matériel mécanique.

Remarques supplémentaires:

a) Il faut faire très attention aux matériaux à traiter, car le traitement n'a pas les mêmes avantages quand les matériaux sont plus grossiers.

b) Le traitement doit être entrepris aussitôt après le dégel, dès que les transports peuvent commencer; dans bien des cas, il ne suffit pas d'une application par saison.

ANNEXE H

ETABLISSEMENT DES FORMULES PERMETTANT D'EVALUER LE COUT DES MACHINES

On étudie ci-dessous les méthodes de calcul des formules permettant d'estimer la valeur des divers éléments du coût de fonctionnement d'une machine.

1. Amortissement

L'amortissement est un moyen de comptabiliser l'investissement fait dans l'achat d'une machine. Parmi les diverses méthodes permettant de calculer l'amortissement en vue d'évaluer les coûts, la méthode linéaire fondée sur le nombre d'heures relevées au compteur ou sur des fiches de contrôle est la plus courante. D'autres sont parfois justifiées en comptabilité, mais n'ont pas d'intérêt pour calculer de façon réaliste des coûts de fonctionnement des machines.

Il n'est pas possible d'évaluer de façon précise la vie économique d'une machine, car divers facteurs entrent en jeu, notamment le vieillissement technique, les conditions d'emploi, la qualité de l'entretien, etc.

Le montant à amortir comprend les droits d'importation, la TVA ou autre taxe, le coût du transport et tous les autres coûts de livraison de la machine au chantier; il faut en déduire la valeur estimée de revente ou de récupération, que l'on chiffre généralement à 10 pour cent du coût d'origine. Pour calculer l'amortissement par unité de temps, on divise cette somme nette par la vie prévue de la machine exprimée dans la même unité de temps:

$$\text{amortissement} \quad \frac{\text{coût d'origine de la machine} \times 0{,}90}{\text{durée de vie de la machine en unité de temps}}$$

2. Intérêts

Les intérêts à imputer sur les coûts de fonctionnement de la machine sont calculés en appliquant à l'investissement moyen annuel dans la machine le taux d'intérêt auquel il est possible d'emprunter pour financer l'achat de ladite machine. Pour le rapporter à l'unité de temps, on divise l'intérêt annuel par le nombre d'unités de temps dans l'année, ainsi:

$$I = \frac{AAI \times i}{\text{unités de temps par an}}$$

où:

I = intérêt par heure ou autre unité de temps;

AAI = investissement moyen annuel;

i = taux d'intérêt exprimé sous forme d'un coefficient décimal.

Pour faciliter les calculs, on considère en général que l'investissement moyen annuel équivaut à 60 pour cent du coût de la machine franco chantier; il existe une formule plus précise:

$$AAI = \frac{C\,(Y + 1) + V\,(Y - 1)}{2Y}$$

où:

AAI = investissement moyen annuel;

C = coût de la machine franco chantier;

V = valeur estimée de revente ou de récupération de la machine;

Y = durée de vie estimée de la machine en années.

Dans certaines régions du monde, on n'a pas l'habitude d'imputer les intérêts sur le coût de fonctionnement de la machine. Cependant, il faut bien les compter quand on veut comparer les coûts de deux ou de plusieurs machines (et méthodes) d'exploitation. Si l'on n'en tient pas compte, le coût horaire de la machine est faussé et on risque de mal choisir la méthode d'exploitation.

3. Assurance

L'assurance couvre généralement les risques aux tiers et les dégâts matériels, ainsi que la destruction par le feu, le vol ou d'autres accidents. La valeur annuelle est généralement équivalente à un pourcentage de l'investissement initial ou de l'investissement moyen annuel; à partir de là, on calcule un taux par heure-machine. Le pourcentage dépend des habitudes locales; il est généralement compris entre 1 et 5 pour cent de l'investissement moyen annuel.

On peut employer la formule suivante:

$$IN = \frac{\text{coût de la machine franco chantier} \times 0{,}60 \times r}{\text{nombre d'heures par an}}$$

où:

IN = coût de l'assurance par heure ou autre unité de temps;

r = pourcentage exprimé sous forme d'un coefficient décimal.

4. Impôts

On comprendra sur ce poste les impôts annuels encourus directement par la machine. On y comptera, le cas échéant, le coût de la licence, mais non pas les impôts sur le carburant, comptabilités avec le coût des carburants. Le coût annuel des impôts est transformé en coût horaire en appliquant la formule ci-dessous:

$$\text{Impôts} = \frac{\text{montant annuel de l'impôt}}{\text{nombre moyen d'heures (ou autre unité de temps) par an}}$$

5. Main-d'oeuvre

Le coût de la main-d'oeuvre comprend les salaires directs de l'opérateur ou du conducteur et des aides qui font fonctionner la machine, ainsi que le coût indirect des avantages marginaux. Ces derniers doivent être calculés et exprimés en pourcentage du coût direct. Le coût de la main-d'oeuvre par heure/machine peut être obtenu en divisant le coût total de la main-d'oeuvre par jour, semaine, mois, heure ou an par le nombre d'heures/machine compris dans la période choisie. Ainsi:

$$\text{Coût hotaire de la main-d'oeuvre} = \frac{\text{coût de la main-d'oeuvre pour la période} \times (1 + f)}{\text{PMH (pendant la période)}}$$

où:

f = coût des avantages marginaux exprimé en pourcentage du coût direct de la main-d'oeuvre;

PMH = heure/machine productive.

6. Carburant

La consommation de carburant dépend de la puissance du moteur et du coefficient de charge, c'est-à-dire de la consommation effective de carburant en pourcentage de la consommation maximum du moteur. Ainsi, un moteur qui travaillerait constamment à sa pleine puissance nominale a un coefficient de charge de 100 pour cent.

Ce coefficient dépend de la condition d'usage. Un tracteur à chenilles qui travaille en bulldozer dans une opération forestière en climat tempéré a généralement un coefficient de charge de 65 à 70 pour cent; dans des plantations sous climat chaud, ce coefficient peut être un peu plus bas. Pour des forwarders mécaniques dont la plupart ont un rapport poids/puissance en charge de l'ordre de 160 à 180, le coefficient de charge moyen est de 55 à 70 pour cent selon les conditions de fonctionnement et l'habileté de l'opérateur. Le rapport poids/puissance est le rapport entre le poids brut du véhicule en kilos et la puissance nette du moteur en ch. Au Canada oriental, pour le transport de bois à pâte par remorque tractée sur une distance de 80 km sur une grande route revêtue de gravier, dans un terrain vallonné, avec une pente moyenne en charge d'environ 0,4 pour cent, le rapport poids/puissance en charge est d'environ 140; la vitesse moyenne pour une rotation s'établit à

70 km/h, et le coefficient de charge moyen a été calculé à 72 pour cent (76 pour cent pour le trajet en charge et 65 pour cent pour le retour à vide).

Des débardeurs à roues de type canadien travaillant avec des élingues au Canada oriental, souvent dans des conditions très dures, déplacent des charges relativement faibles (souvent limitées par la dimension des arbres, qui est en moyenne de 0,14 à 0,16 m^3 et par le nombre d'élingues). Même quand les arbres sont plus grands, la charge maximum n'est pas toujours atteinte. En conséquence, les moteurs ne déploient généralement pas toute leur puissance, même quand le débardeur est chargé et le coefficient de charge est de 45 à 50 pour cent. Par contre, dans les pays en développement, où la main-d'oeuvre est abondante et bon marché, où le terrain est généralement favorable, où les arbres sont grands (sauf le produit des premières éclaircies commerciales) et où les machines représentent le principal élément du coût d'une opération, on a tendance à débarder des charges maximums et donc à faire travailler le moteur au maximum. Dans ces conditions, le coefficient de charge moyen peut être de l'ordre de 60 à 65 pour cent.

Etant donné ce qui précède, on peut admettre pour les calculs un coefficient de 60 pour cent sans risquer une erreur significative dans l'estimation des coûts de fonctionnement de la machine.

La consommation de carburant d'un moteur diesel qui brûle du carburant nº 2 est comprise entre 0,16 et 0,18 kg/h par ch (puissance au frein), selon le modèle du moteur et sa vitesse, la température et le rendement du moteur. Pour le calcul, on peut admettre une valeur de 0,17 kg. La consommation des moteurs à essence est de l'ordre de 0,21 kg/h par ch (puissance au frein).

La puissance brute d'un moteur est égale à la puissance au frein quand il y a seulement un carburateur, un filtre à air, une pompe à carburant et une pompe à eau. La puissance nette est la puissance au frein ou la puissance au volant développée quand il y a en plus un ventilateur, un pot d'échappement, un générateur ou alternateur et d'autres accessoires. La puissance nette est généralement de 7 à 15 pour cent inférieure à la puissance brute. La puissance des moteurs est généralement indiquée en ch bruts, mais certains fabricants indiquent plutôt la puissance nette.

La densité du carburant varie un peu selon la température et la pression, mais on peut prendre la valeur de 0,84 pour le carburant diesel nº 2 et de 0,72 pour l'essence. On peut calculer la consommation du carburant en appliquant la formule ci-dessous:

$$LPMH = \frac{K \times GHP \times LF}{KPL \times 100}$$

où:

LPMH = consommation par heure/machine en litres;

K = consommation en kg/heure par ch puissance au frein;

GHP = puissance brute du moteur en ch à la vitesse contrôlée (tours/minute);

LF = coefficient de charge en pourcentage;

KPL = densité du carburant.

Si l'on introduit dans cette formule les valeurs correspondantes indiquées ci-dessus à la place des symboles K, LF et KPL, on a:

a) LPMH = 0,12 x GHP pour les moteurs diesel;

b) LPMH = 0,175 x GHP pour les moteurs à essence.

Le coût du carburant par heure/machine peut ensuite être estimé en appliquant la formule ci-dessous:

a) FC = 0,12 x GHP x CL pour les moteurs diesel,

b) FC = 0,175 x GHP x CL pour les moteurs à essence,

où:

FC = coût du carburant par heure/machine;

GHP = puissance brute au frein du moteur;

CL = coût du litre de carburant.

Si le carburant coûte 0,15 dollar par litre, le coût estimatif du carburant pour un tracteur Caterpillar D7F, développement 180 chevaux vapeur nets au volant, s'établit comme suit:

$$0,12 \times \frac{180}{0,935} \times 0,15 = 3,47 \text{ dollars E.-U./heure.}$$

La meilleure façon d'obtenir des données concernant la consommation de carburant est d'observer des machines analogues travaillant dans des conditions semblables. Quand cela est impossible, on aura recours aux formules ci-dessus. On a parfois essayé de mettre au point des méthodes abrégées pour évaluer le coût de la consommation de carburant, mais trop de variables entrent en jeu pour que cela puisse donner de bons résultats. La principale variable est le coefficient de charge. L'expérience d'une région donnée, assortie de quelques contrôles ponctuels sur des machines particulières, permettra rapidement d'établir sa valeur dans des limites de précision acceptables.

7. Huile et graisse

Le coût de l'huile et de la graisse, y compris les huiles hydrauliques, varie selon la puissance du moteur, la contenance et la complexité du système hydraulique. Pour des machines telles que les tracteurs, camions, débardeurs et chargeurs frontaux qui n'ont qu'un système hydraulique réduit ou pas de système hydraulique du tout, le coût par heure/machine peut être calculé approximativement selon la formule:

$$COG = \frac{GHP \times 0,20}{100}$$

où:

COG = coût de l'huile et de la graisse par heure/machine productive;

GHP = puissance brute en ch.

Pour des machines telles que les forwarders, les processors et les récolteuses, qui peuvent avoir des systèmes hydrauliques relativement complexes à haute pression, le coût par heure/machine peut dépasser 1/2 pour cent et même approcher de 1 pour cent par ch de puissance brute. Par exemple, le coût de l'huile et de la graisse peut largement dépasser 1 dollar E.-U. par heure/machine pour une machine d'exploitation d'une puissance de 200 chevaux. Le coût de l'huile et des graisses,pour les abatteuses-groupeuses et les chargeurs à flèche, est compris entre celui des tracteurs à chenille et celui des récolteuses. Ainsi, la formule peut s'écrire comme suit:

$$COG = \frac{GHP \cdot X}{100}$$

où:

COG = coût de l'huile et des graisses par heure/machine productive:

X = coefficient valant:

a) 0,25 pour les tracteurs, camions, débardeurs, niveleuses et chargeurs frontaux;

b) 0,35 pour les abatteuses-groupeuses et chargeurs à flèche;

c) 0,60 pour les processors, récolteuses et forwarders.

8. Services et réparations (non compris les pneus des véhicules)

Il est difficile de faire des estimations fiables du coût du service et des réparations des machines, à moins qu'on n'ait des chiffres concernant des machines analogues travaillant dans des conditions semblables. Généralement, on estime les coûts du service et des réparations pendant la durée de vie de la machine en fonction d'un - ou de plusieurs - des facteurs ci-dessous:

a) prix d'achat;

b) coût de la machine rendue, impôt non compris;

c) amortissement,

et on les exprime par heure/machine productive. Pour cela, il faut que la durée de vie de la machine ait été estimée de façon réaliste.

Bien que le coût du service et des réparations augmente quand la machine vieillit, on prend généralement une valeur moyenne pour toute la durée de vie et on l'exprime de façon linéaire, comme l'amortissement. En pratique, le montant annuel de l'amortissement diminue chaque année, tandis que celui du service et des réparations augmente, de sorte que, globalement, le coût annuel reste à peu près égal pendant toute la durée de vie de la machine; dans ces conditions, une formule linéaire peut être assez réaliste.

L'expérience du Canada oriental indique que le coût du service et des réparations varie entre 75 et 150 pour cent de celui de l'amortissement (quand la durée de vie de la machine est estimée de façon réaliste), selon la complexité et le perfectionnement de la machine, le type de travail qu'elle accomplit, le milieu dans lequel elle est utilisée et le soin de l'opérateur. Ces coûts comprennent deux éléments:

a) main-d'oeuvre, y compris avantages marginaux;

b) pièces de rechange et matériel.

Au Canada oriental, ces éléments représentent chacun environ la moitié du coût total, le coût de la main-d'oeuvre étant estimé en fonction de l'heure tarifée par les garages, qui peut être comprise entre 10 et 15 dollars E.-U. par heure/machine.

Dans les pays en développement, le coût des pièces de rechange et du matériel est souvent très différent de ce qu'il est dans les pays industrialisés, mais la main-d'oeuvre coûte moins cher. En règle générale, au Canada oriental, le coût du service et des réparations pendant toute la durée de vie d'une machine d'exploitation forestière assez perfectionnée est considéré comme équivalant au coût rendu de la machine. Il est suggéré d'adopter cette formule, à moins qu'on n'ait des données plus précises; on a ainsi la formule suivante:

$$\text{Service et réparations} = \frac{\text{coût de la machine rendue}}{\text{durée de vie normale}}$$

9. Pneus (seulement pour les véhicules)

Les coûts des pneus des véhicules sont parfois évalués par rapport à la distance parcourue. Cette méthode est tout à fait valable, surtout quand la charge est toujours la même et que le type de route ne varie pas. Mais, le plus souvent, dans les exploitations forestières, on rencontre plusieurs types de route, depuis les plus mauvaises où le camion circule à faible vitesse et où les flancs des pneus s'abîment souvent, jusqu'aux routes rapides, lisses et bien revêtues, où les irrégularités sont rares et où la chaleur est probablement le plus grand ennemi des pneus. Il semblerait donc évident que l'évaluation des coûts sur la base du nombre d'heures de roulage soit aussi fiable et même peut-être plus précise que l'évaluation par rapport au nombre de kilomètres parcourus. Le coût horaire est aussi plus facile à utiliser dans les calculs des coûts globaux.

Il est également évident que les meilleures données concernant le coût des pneus proviennent de l'expérience acquise dans l'emploi d'un matériel et de pneus analogues dans des opérations semblables. Lorsqu'on ne dispose pas de telles données, il faut trouver d'autres moyens. Beaucoup dépend de la structure du pneu, de la charge par pneu, de la pression de gonflage, de la surface de la route, de la vitesse, de la température et de nombreux autres facteurs.

Les pneus d'origine devront être amortis avec le camion et la remorque dans le cas des grumiers. Ainsi, on comprendra dans le coût des pneus les réparations des pneus d'origine et l'achat et les réparations des pneus de remplacement pendant toute la durée de vie de la machine. On peut employer à cet effet la formule suivante:

$$\frac{B}{Y \times Z} = \frac{(T + B)\ (Y \times Z - A)}{Z \times Y \times A}$$

où:

B = coût des réparations d'un jeu de pneus;

T = coût du remplacement d'un jeu de pneus;

Y = durée de vie du camion ou de la remorque en années;

Z = nombre d'heures de roulage par an;

A = durée de vie d'un jeu de pneus exprimée en heures de roulage;

TxZ = nombre d'heures de roulage du camion ou de la remorque pendant toute sa durée de vie;

$\frac{B}{YxZ}$ = coût des réparations des pneus d'origine pendant toute leur durée de vie;

$\frac{T+B}{YxZ}$ = coût d'un jeu de pneus de remplacement et des réparations de pneus;

$\frac{Y \times Z - A}{A}$ = nombre de jeux de pneus de remplacement nécessaires pendant la durée de vie de la machine.

On peut admettre, comme approximation grossière, que (a) pendant la durée de vie du éhicule, celui-ci assure 10 000 heures de roulage; (b) la durée de vie des pneus correspond environ 2 000 heures de roulage; (c) le rechapage et les réparations des pneus représentent nviron 50 pour cent du coût d'origine, et il faut 4 jeux de remplacement pendant la durée de ie du véhicule, pour un coût de:

$$CST \times 1{,}5 \times 4$$

ıns ces conditions, on obtiendra le coût par heure de roulage en appliquant la formule:

$$TC = \frac{CST \times 1{,}5 \times 4}{10\ 000} = 0{,}0006 \times CST$$

i:

TC = coût des pneus par heure de roulage;

CST = coût des jeux de remplacement.

Le coût de la main-d'oeuvre pour le remplacement des pneus et les réparations neures peut être inclus avec les coûts du service et des réparations.

. Feuille de calcul

On pourra utiliser le formulaire A du chapitre 3 pour estimer le coût de fonctionnement d'une machine. Cette feuille peut être utilisée aussi bien pour les camions que pour ; machines telles que les tracteurs à chenille qui n'ont pas un rôle essentiel de roulage.

ANNEXE I

AMENAGEMENT DES ROUTES INTERIEURES EN VUE D'UN COUT TOTAL MINIMUM DU DEBARDAGE ET DU TRANSPORT

Principes

Le réseau routier qui sert à transporter le bois d'une zone déterminée jusqu'au chantier final comprend en général une série de routes de différentes classes, à commencer par des routes intérieures ou routes de vidange, situées dans le périmètre immédiat de la zone d'exploitation, et en continuant par des routes dont la qualité s'améliore progressivement jusqu'au chantier final. R.G. Belcher a montré, dans le Woodlands Section Paper No. 2484 intitulé "Minimization of Trucking Costs", que si l'on veut que le coût total des routes et du transport ait la valeur minimum, il vaut mieux construire trop de routes principales que pas assez, ce qui revient à dire que le risque de diminuer la rentabilité globale décroît si l'on construit des routes de haute qualité plutôt que des routes médiocres.

En ce qui concerne les routes dites intérieures ou de vidange, autrement dit celles qui sont situées dans le périmètre immédiat de la zone d'exploitation et qui desservent uniquement ce périmètre, le Woodlands Section Paper No. 2258, intitulé "Mechanized Logging and Road Requirements", pose un autre principe, à savoir que le coût d'une route intérieure et la partie variable (frais de déplacement) des coûts de débardage et de transport sur cette route intérieure, exprimés en termes identiques, doivent être égaux ou compatibles pour que le coût d'exploitation soit le plus bas possible. Ce principe repose sur certains postulats:

1) il faut une certaine souplesse - une certaine liberté de choix - dans les dépenses consenties par mile de route de vidange;

2) la vitesse moyenne du voyage aller et retour sur la route intérieure est proportionnelle au coût de la route par mile;

3) la partie variable (déplacements) du coût de transport est inversement proportionnelle à la vitesse de déplacement, de sorte que, par exemple, le coût est moitié moindre si la vitesse est double;

4) les frais de fonctionnement du matériel de débardage et de transport doivent être ventilés en heures d'arrêt et en heures de voyage et doivent être appliqués sur cette base.

L'exploitant forestier doit souvent se demander à quelles normes de service doit répondre la construction de la route et quelles dépenses routières seront rentables. Dans le cas des principales routes ou des routes de vidange qui deviendront plus tard des routes secondaires ou des routes principales, il faut considérer le volume total de bois à transporter. Il est évident que la route doit être construite au départ selon des normes finales qui tiennent compte de la minimisation du coût dès le début de l'utilisation. On considère ici le cas des routes intérieures qui se trouvent en tête de ligne et qui ne serviront jamais qu'à transporter le bois des environs immédiats.

En appliquant la formule d'espacement optimal des routes, on trouve l'espacement des routes de vidange pour lequel le coût total 1) du débardage par engin porteur ou traîneur, et 2) de la construction et de l'entretien de la route sera le plus bas possible. On peut donner une valeur égale aux éléments variables (déplacements) du coût de débardage par "cunit" et au coût de la route de vidange par "cunit", parce que les premiers sont proportionnels et le second inversement proportionnel à l'espacement de la route. De cette manière on obtient:

$$\frac{S}{4} \times \frac{c\ t\ (1 + p)}{L} = \frac{R}{8Sd}$$

équation dans laquelle:

S = espacement optimal de la route de vidange en "chains";

$\frac{S}{4}$ = distance moyenne de débardage en "chains";

c = coût du débardage par minute de déplacement;

t = vitesse moyenne du voyage aller et retour en minutes/"chain" de débardage, c'est-à-dire temps employé pour parcourir une "chain" dans les deux sens, en charge et à vide;

L = charge moyenne du débardeur en "cunits";

R = coût d'entretien et de construction de la route par mile;

d = densité du peuplement en "cunits par acre;

P = facteur tenant compte des temps morts,

de sorte que:

$ct\ (1 + p)$ = coût variable du débardage par "cunit" et par "chain";

$8Sd$ = "cunits" de bois transportés par mile de route de vidange;

$\frac{R}{8Sd}$ = coût de la route de vidange par "cunit".

En transformant l'équation, on trouve l'espacement optimal de la route S:

$$S = \sqrt{\frac{LR}{2\ d\ c\ t\ (1 + p)}}$$

Autrement dit, quand l'espacement des routes de vidange est conforme à la formule, les coûts variables de débardage et les coûts routiers par "cunit" sont égaux et le coût total des deux opérations est aussi faible que possible.

De même, il est évident qu'exprimés sur des bases identiques les coûts totaux de la construction et de l'entretien d'une route intérieure, d'une part, et des transports sur cette route, d'autre part, sont minimaux quand les deux composantes sont égales. Dès lors que l'on ventile les coûts du camionnage en heures d'arrêt et en heures de déplacement, la partie variable (déplacements) du coût de transport varie d'une façon inversement proportionnelle à la vitesse de déplacement. On a admis plus haut le postulat, qui paraît réaliste dans certaines limites, que le coût d'une route de vidange est directement proportionnel à la vitesse de déplacement lorsqu'il y a une certaine marge de liberté dans les décisions concernant les dépenses à consacrer aux routes. Dans ces conditions, étant donné qu'un des coûts varie proportionnellement à la vitesse de déplacement et l'autre de façon inversement proportionnelle, on peut leur donner des valeurs égales pour obtenir un coût total minimum. De cette manière, on arrive à l'équation:

$$D \times X \times \frac{c\ t\ (1 + p)}{L} = \frac{R}{8Sd}$$

où:

D = longueur de la route de vidange en miles;

$D \times X$ = distance moyenne de transport en miles;

c = coût par heure de déplacement du matériel de transport;

t = temps moyen en heures nécessaire pour parcourir 1 mile en charge et retourner à vide;

L = charge moyenne en "cunits";

R = coût de construction et d'entretien de la route par mile;

S = espacement optimal des routes en "chains";

d = densité du peuplement en "cunits"/acre;

p = facteur tenant compte des temps morts,

de sorte que:

$\frac{ct\ (1 + p)}{L}$ = coût variable de transport par "cunit" et par mile;

8Sd volume de bois transporté par mile de route de vidange;

$\frac{R}{8Sd}$ = coût de la route de vidange par "cunit".

On construit ordinairement les routes de vidange pour réduire les frais de débardage. Il faut donc tenir compte de ce dernier facteur si l'on veut réduire au minimum le coût total du débardage, du transport et de la route de vidange (construction et entretien). Si la planification est correcte, l'application de la formule de l'espacement optimal des routes permettra de réduire au minimum le coût total des routes de vidange et du débardage. De même, elle réduira au minimum le coût total des routes d'extraction et du transport en équilibrant ces deux coûts. Il s'ensuit que la norme de qualité de la route de vidange doit être telle que, pour l'espacement adopté, les éléments variables du coût de débardage par "cunit" seront en équilibre avec les éléments variables du coût de transport par "cunit". En comparant ces deux valeurs dans le cas de la route envisagée, on verra si la norme de qualité est correcte, trop élevée ou trop faible, et on sera amené ainsi à envisager la possibilité de modifier cette norme. A cette fin, il faut rapporter ces deux valeurs à R, coût de la route par mile et, à partir des deux résultats, construire une équation d'où l'on tire la valeur de R pour laquelle le coût de la route, le coût variable du débardage et le coût variable du transport sont égaux et le coût total aussi faible que possible, sur la base des prix de revient par "cunit".

On trouvera à l'Annexe XIII le texte du Woodlands Section Paper No. 2258 "Mechanized Logging and Road Requirements". Le lecteur pourra s'y reporter pour plus de détails. L'étude de R.G. Belcher mentionnée plus haut n'est pas reproduite dans le présent manuel parce qu'elle traite des routes principales dont on ne s'occupe pas ici.

Application du principe du coût total minimum

Une zone forestière longeant une route principale sur une distance considérable et s'étendant en profondeur jusqu'à 1 mile de la route porte un peuplement assez uniforme dont le volume moyen est de 12 "cunits" par acre. L'exploitant forestier compte récolter le bois à l'aide d'abatteuses-groupeuses et le débarder jusqu'à la route ou jusqu'à une remorque en employant des forwarders qui transporteront des charges de 3 "cunits",au coût de 18 dollars canadiens par heure de travail, et qui voyageront à des vitesses moyennes aller et retour de 1,5 mile à l'heure (de telle sorte qu'il faut 1 minute pour parcourir une "chain" en charge et revenir à vide). On doit construire à partir de la route principale plusieurs routes de vidange traversant la zone dans toute sa largeur. L'exploitant peut fixer lui-même la norme de qualité des routes de vidange et la dépense par mile de route. La vitesse de déplacement sera directement proportionnelle au coût de la route R et égale à 0,01 R, c'est-à-dire que les camions de transport auront une vitesse moyenne de 5 miles à l'heure si la dépense est de 500 dollars canadiens au mile, de 10 miles à l'heure si elle est de 1 000 dollars canadiens, et le reste à l'avenant, dans certaines limites. L'exploitant utilisera des camions semi-remorques ayant une charge de 12 "cunits" et coûtant 18 dollars canadiens par heure de déplacement.

L'exploitant veut connaître, pour réduire au minimum possible les frais globaux:

1) l'espacement optimal de ses routes de vidange;

2) le montant à dépenser par mile de route.

Il sait que le coût par heure d'arrêt, la méthode de chargement (direct ou avec préchargement) et le rapport entre remorques et tracteurs n'entrent pas en ligne de compte, sinon que, en cas de préchargement, le coût des aires de stationnement des remorques doit être englobé dans le coût de la route.

Pour résoudre le problème, il faut:

1) appliquer la formule de l'espacement optimal des routes, de façon à en tirer une valeur de R;

2) déterminer l'élément variable du coût de débardage

$$\frac{S}{4} = \frac{c\ t\ (1 + p)}{L}$$

et l'élément variable du coût de transport

$$D \times X \times \frac{c\ t\ (1 + p)}{L}$$

les exprimer tous deux en termes de R, et mettre les deux expressions en équation pour trouver R, c'est-à-dire le coût optimal des routes par mile.

A. Appliquer la formule de l'espacement optimal des routes:

$$S = \sqrt{\frac{LR}{2\ d\ c\ t\ (1 + p)}} = \sqrt{\frac{3R}{2 \times 12 \times 0{,}30 \times 1 \times 1{,}10}} = \sqrt{0{,}615\ R}$$

B. Trouver les coûts variables de débardage par "cunit":

$$\frac{S}{4} = \frac{c\ t\ (1 + p)}{L} = \frac{0{,}615\ \sqrt{R}}{4} \times \frac{0{,}30 \times 1 \times 1{,}10}{3} = 0{,}0169\ \sqrt{R}$$

C. Trouver les coûts variables de débardage par "cunit" de bois à transporter sur chaque route de vidange d'une longueur D, le bois étant également réparti le long de la route, de sorte que X = 0,5, autrement dit la distance moyenne de transport est égale à la moitié de la longueur de la route.

$$D \times X \times \frac{c\ t\ (1 + p)}{L} = \frac{1 \times 0{,}5 \times 18 \times 2 \times 1{,}10}{0{,}01R \times 12} = \frac{165}{R}$$

Mettre en équation B et C et résoudre l'équation par rapport à R:

$$0{,}0169\sqrt{R} = \frac{165}{R}$$

de sorte que R = 455 dollars canadiens.

E. Trouver l'espacement optimal des routes de vidange à partir de l'expression A ci-dessus:

$$S = 0{,}615\ \sqrt{R} = 0{,}615\ \sqrt{455} = 13{,}1 \text{ chains.}$$

Par conséquent, si l'on dépense 455 dollars canadiens par mile de route de vidange, on aura les résultats ci-après.

1) espacement optimal des routes = 0,615 x 21,3 = environ 13 "chains";

2) chaque mile de route transportera 8Sd = 1 250 "cunits";

3) la vitesse moyenne de transport = 0,01 x 455 = 4,5 miles/h;

4) les éléments variables du coût de débardage, les éléments variables du coût de transport et les coûts routiers seront égaux pour les valeurs suivantes, qui donnent le coût total le plus faible possible:

	Coût par "cunit"	
	Symbole	Montant
Elément variable du débardage	$0{,}0169\sqrt{R}$	0,36 $ can.
" " transport	$\frac{165}{R}$	0,36 "
Route de vidange	$\frac{R}{8Sd}$	0,36 "
Total:		1,08 $ can.

S'il est impossible de respecter les postulats admis dans ces calculs, le principe du coût total minimum ne peut être appliqué. Dans les conditions de l'énoncé, les valeurs indiquées ci-dessus correspondent au coût total le plus faible possible des constructions routières, des éléments variables du débardage et des éléments variables du transport. Un des postulats fondamentaux était que la vitesse de déplacement des camions sur les routes de vidange soit proportionnelle au coût de la route, c'est-à-dire dans le cas présent égale à 0,01 R, R représentant le coût de la route par mile.

Si, toutefois, les conditions de terrain sont telles que l'exploitant est contraint, par exemple, de dépenser 1 000 dollars canadiens au lieu de 455 par mile de route, les postulats ne sont pas respectés et le principe cesse d'être applicable. Dans cette situation, l'exploitant aura le choix entre les solutions suivantes:

A) ne pas modifier l'espacement des routes (13 "chains") et consacrer aux routes 1 000 dollars canadiens par mile;

B) réappliquer la formule d'espacement des routes pour un coût routier R de 1 000 dollars canadiens.

Les deux options se comparent comme suit:

	Option A	Option B
Espacement des routes de vidange en "chains"	13,1	19,5
"Cunits" transportés par route de vidange	1 260	1 870
Elément variable du coût de débardage par "cunit"	0,36 $ can.	0,535 $ can.
Coût des routes par "cunit"	0,795	0,535
Elément variable du coût de débardage par "cunit" pour une vitesse moyenne de 4,5 mile à l'heure	0,36	0,36
Coût total par "cunit"	1,515 $ can.	1,43 $ can.

Si l'exploitant est contraint de dépenser 2 000 dollars canadiens par mile de route de vidange, le coût total des routes, des éléments variables du débardage et des éléments variables du transport sera encore plus élevé: 2,31 dollars canadiens dans l'option A, et 1,87 dollar canadien dans l'option B, pour une même vitesse moyenne de transport de 4,5 miles à l'heure.

On voit donc que lorsqu'on ne peut pas respecter le principe du coût total minimum, le coût total est aussi bas que possible quand les routes de vidange sont espacées conformément à la formule d'espacement optimal et quand les vitesses de transport représentent le maximum compatible avec l'état de la route. On comprend également que, comme les routes d'hiver sont normalement beaucoup moins coûteuses que les routes d'été, le coût total des routes de vidange, du débardage et du transport sera minimum en hiver et qu'il doit être tenu compte de ce facteur dans les plans d'exploitation forestière.

LISTE DES OUVRAGES CITES

(1) FAO 1974 — Exploitation et transport des grumes en forêt dense tropicale. Département des forêts, Rome (Italie)

(2) FAO 1976 — "Harvesting Man-Made Forests in Developing Countries". Forestry Department, Rome, Italy.

(3) Paterson, W.A., McFarlane, H.W., and Dohaney, W.J. 1969 — "A Proposed Forest Roads Classification System". Pulp and Paper Research Institute of Canada, Montreal, Canada, W.R. No. 20.

(4) Paterson, W.G., McFarlane, H.W., and Dohaney, W.J. 1970 — "Industry Experience with Forest Road Stabilization Methods and Material". Pulp and Paper Research Institute of Canada, Montreal, Canada, W.R. No. 18 (Second Edition).

(5) Paterson, W.G., McFarlane, H.W., and Dohaney, W.J. 1971 — "The Selection and Use of Forest Road Building Materials". Pulp and Paper Research Institute of Canada, Montreal, Canada Report WR/1 (Second Edition).

(6) McNally, J.A. 1975 — "Trucks and Trailers and their Application to Logging Operations". University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada.

(7) Odier, L., Millard, R.S., dos Santos, Pimentel and Mehra, S.R. 1967 — "Low Cost Roads - Design, Construction and Maintenance". Unesco, 1967, with English Translation 1971.

(8) Comité mixte FAO/ECE/ILO 1971 — Colloque sur les opérations forestières en régions montagneuses.

(9) Department of Transport. 1971 — "Axle Weight Legislation Made up the Highway Traffic Act and Regulations". Queen's Park, Toronto, Canada.

(10) Canadian Pulp and Paper Association. 1961 — "Costing Mechanical Equipment". Sun Life Building, Montreal, Canada. Woodlands Section Paper, Index No.2103, Logging Committee.

(11) Samset, Ivar. 1972 — "Cost Calculation of Forest Machines" (in Norwegian with English Summary). Tidsskrift for Skagbruck 80, IV, pages 357-374, Oslo, Morway.

(12) Caterpillar Tractor Co. 1974 — "Caterpillar Performance Handbook".

13) McNally, J.A. 1968 — "Mechanized Logging and Road Requirements". Canadian Puld and Paper Association, Sun Life Building, Montreal, Canada. Woodlands Section Paper, Index No. 2258.

14) Anonyme 1968 — "Méthode pratique d'optimisation du réseau routier pour le transport des bois par camion". Département d'exploitation et utilisation des bois, Faculté de Foresterie et Géodésie, Université Laval, Québec, Canada. Note des Recherches nº 5, 1ère partie, nº 144; 2ème partie, nº 141.

15) Eisbacher, J. 1975 — The Application of Soil Testing Methods in Forest Road Construction". Forstliche Bundesversuchanstalt, Wien. Dans "Technical Report of FAO/Austria Training Course on Forest Roads and Harvesting in Mountainous Forests", FAO, Rome, 1976.

(16) Axelson, S.A. 1972 — Repair Statistics and Performance of New Logging Machines. Pulp and Paper Research Institute of Canada, Logging Research Report LRR/47.

(17) von Segebaden, O. 1964 — Studies of Cross-country Transport, Distances and Road-net Extension. Studia Forestalia Suecia No. 18, Stockholm.

(18) Akesson, H.A. 1968 — Drainage of Forest Roads. Canadian Pulp and Paper Association, Sun Life Building, 1155 Metcalfe St., Montreal, Canada. Woodlands Section Paper, Index No. 2260.

(19) Cunia, T. 1960 — Production Studies in Cutting and Horse Skidding. Canadian Pulp and Paper Association, Sun Life Building, Montreal, Canada; Woodlands Section, Index No. 1951.

(20) Bennett, W.D. 1962 — Forces Involved in Skidding Full Tree and Tree Length Loads of Pulpwood. Pulp and Paper Research Institute of Canada, Montreal, Canada, W.R. Index No. 137.

(21) 1970 — The Logma T-310 Limber-Buncher. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stockholm, Sweden, Teknik No. 8.

(22) Powell, L.H. 1972 — Evaluation of New Logging Machines: Logma T-310 Limber Buncher. Pulp and Paper Research Institute of Canada, Montreal, Canada. Report LRR/46.

(23) Myles, D.V. 1976 — Development of a Tree-Length Forwarder. Forest Management Institute, Canadian Forestry Service, Environment Canada, Ottawa, Canada. Information Report FMR-X-88.

(24) 1975 — Logging in Sweden. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Drottninggatan 97, Stockholm, Sweden.

(25) Heidersdorf, E. 1973 — Evaluation of New Logging Machines: BM Volvo SM-880 Processor. Pulp and Paper Research Institute of Canada, Montreal, Canada. Report LRR/55.

No: 11398